

ABSTRACT BOOK



EGE 12. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ



**EGE
12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
DECEMBER 26-30, 2024
Izmir**

**ISBN : 978-625-5962-10-2
Academy Global Publishing House**





EGE 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
DECEMBER, 26-30, 2024
IZMIR

Edited By
PROF. DR. HÜLYA ÇİÇEK

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Head of Conference: Prof. Dr. Hülya Çiçek

Prof. Dr. Ali Bilgili

Prof. Dr. Naile Bilgili

Prof. Dr. Başak Hanedan

Prof. Dr. Hajar Huseynova

Prof. Dr. Dwi Sulisworo

Prof. Zain Musa

Prof. Dr. Sameer Jain

Prof Yakup Babayev

Prof. Dr. Suyatno

Assoc. Prof. Dr. Dhiesi Ari Astuti

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran

Assoc. Prof. Dody Hartanto

Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn

Assoc. Prof. Nazile Abdullazade

Assoc. Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova

Assist. Prof. Ihwan Ghazali

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu

Assist. Prof. Dr. Mahruki Dowlatzade

Dr. Dadash Mehravari

Dr. Gültekin Gürçay

Aynur Əliyeva

Khorram Manafidizaji

All rights of this book belong to Academy Global Publishing House

Without permission can't be duplicate or copied.

Authors of chapters are responsible both ethically and juridically.

Academy Global–2024 ©

CONFERENCE ID

EGE
12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE
DECEMBER 26- 30, 2024
IZMIR

ORGANIZATION
ACADEMY GLOBAL CONFERENCES& JOURNALS

EVALUATION PROCESS
All applications have undergone a double-blind peer review process.

PARTICIPATING COUNTRIES
Turkey – Azerbaijan- Malaysia – Nigeria- Serbia - South Africa. - Thailand – Lebanon
– China - Israel – Qatar - Saudi Arabia - Kuwait - USA – UAE – Korea – Cyprus –
Mauritius – Kazakhstan-Greece – Romania - India - Indonesia - Czech Republic –
Pakistan – Libya – Almaty – Singapore – Portugal – Ireland – Taiwan – Russia –
Switzerland – Spain – Hungary – Slovenia - México, - Cape Tow – Croatia - Tanzania. –
Brazil - Senegal – Sweden – Czech Republic – Poland -

PRESENTATION
Oral presentation

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :
In the conference 321 papers have been presented by participants from Turkey and 389
papers by foreign participants
Members of the organizing committees of the conference perform their duties with an
"official assignment letter"

LANGUAGES
Turkish, English, Russian, Persian, Arabic

Issued: 31.12.2024
ISBN: 978-625-5962-10-2

Scientific & Review Committee

- Prof. Dr. Ali BİLGİLİ – Türkiye
Prof. Dr. Naile BİLGİLİ – Türkiye
Prof. Dr. Başak HANEDAN – Türkiye
Prof. Dr. Hülya Çiçek KANBUR – Türkiye
Prof. Dr. Emine KOCA – Türkiye
Prof. Dr. Fatma KOÇ – Türkiye
Prof. Dr. Bülent KURTIŞOĞLU – Türkiye
Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan
Prof. Dr. Dwi SULISWORO – Indonesia
Prof. Dr. Natalia LATYGINA – Ukraina
Prof. Dr. Yunir ABDRAHIMOV – Russia
Prof. Muntazir MEHDI – Pakistan
Prof. Dr. Raihan YUSOPH – Philippines
Prof. Dr. Akbar VALADBİGİ – Iran
Prof. Dr. F. Oben ÜRÜ – Türkiye
Prof. Dr. T.Venkat Narayana RAO – India
Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ – Türkiye
Prof. Dr. Mustafa BAYRAM – Türkiye
Prof. Dr. Saim Zeki BOSTAN – Türkiye
Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China
Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet AYDIN – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Dilorom HAMROEVA - Ozbekstan
Assoc. Prof. Dr. Abbas GHAFFARI – Iran
Assoc. Prof. Dr. Yeliz ÇAKIR SAHİLLİ - Türkiye
Assoc. Prof. Ivaylo STAYKOV - Bulgaria
Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia
Assoc. Prof. Dr. Ümit AYATA – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Okan SARIGÖZ – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Eda BOZKURT – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Ahmet TOPAL – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Sandeep GUPTA – India
Assoc. Prof. Dr. Veysel PARLAK – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Mahmut İSLAMOĞLU – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azerbaijan
Assist. Prof. Dr. Göksel ULAY – Türkiye
Assist. Prof. K. R. PADMA – India
Assist. Prof. Dr. Omid AFGHAN - Afghanistan
Assist. Prof. Dr. Maha Hamdan ALANAZİ - Saudi Arabia

Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich ALTAYEV - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Amina Salihi BAYERO – Nigeria
Assist. Prof. Dr. Baurcan BOTAKARAEV - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif FAKHEER - Jordania
Assist. Prof. Dr. Gültekin GÜRÇAY – Türkiye
Assist. Prof. Dr. Dody HARTANTO - Indonesia
Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini HEYDALOU – Iran
Assist. Prof. Dr. Bazarhan İMANGALİYEVA - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşılı JAYLIBAY - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Mamatkuli JURAYEV – Uzbekistan
Assist. Prof. Dr. Kalemkas KALIBAEVA – Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Bouaraour KAMEL – Algeria
Assist. Prof. Dr. Alia R. MASALİMOVA - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Amanbay MOLDİBAEV - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Ayslu B. SARSEKENOVA - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Bhumika SHARMA - India
Assist. Prof. Dr. Gulşat ŞUGAYEVA – Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. K.A. TLEUBERGENOVA - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Cholpon TOKTOSUNOVA – Kirgizia
Assist. Prof. Dr. Hoang Anh TUAN - Vietnam
Assist. Prof. Dr. Botagul TURGUNBAEVA - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Dinarakhan TURSUNALİEVA - Kirgizia
Assist. Prof. Dr. Yang ZİTONG – China
Assist. Prof. Dr. Gulmira ABDİRASULOVA – Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Imran Latif Saifi – South Africa
Assist. Prof. Dr. Zohaib Hassan Sain – Pakistan
Assist. Prof. Dr. Murat GENÇ – Türkiye
Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India
Assist. Prof. Dr. Vaiva BALCIUNIENE – Lithuania
Assist. Prof. Dr. Meltem AVAN – Türkiye
Aynurə Əliyeva - Azerbaijan
Sonali MALHOTRA - India



T.C.
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Tıp Fakültesi



Sayı :E-98102723-903.07-475454
Konu :Görevlendirme Talebi

REKTÖRLÜK MAKAMINA

İlgi : 27.03.2024 tarihli ve E--903.07-474236 sayılı yazı

Fakültemiz Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı'nda görevli öğretim üyesi Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK'in Yükseköğretim Genel Kurulunun 15.06.2023 tarihli, 10 sayılı oturumunda alınan 2023.10.183 sayılı kararı gereğince Doçentlik Başvuru Şartlarında bulunan ve doçent olacak adaylardan istenen "Diğer uluslararası/ ulusal bilimsel toplantının düzenleme komitesinde resmi olarak görevlendirilmiş üniversite akademisyen temsilcisi bulunması zorunludur." maddesi gereğince, Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz ve yevmiyesiz olarak görevlendirilme talebi ile ilgili dilekçesi ekte gönderilmiştir

Adı geçen öğretim üyesinin Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz, yevmiyesiz olarak görevlendirilmesinde Dekanlığımızca bir sakınca bulunmamaktadır.

Onaylarınıza arz ederim

Prof.Dr. Şevki Hakan EREN
Dekan

OLUR

Prof.Dr. Arif ÖZAYDIN
Rektör

Ek:İlgi Dilekçe (1 Adet)

Dağıtım:

Gereği:

Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı Başkanlığı

Bilgi:

Sayın Prof.Dr. Hülya ÇİÇEK

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : *BSFN3RR3CF* Pin Kodu : 27962

Belge Takip Adresi : <https://turkiye.gov.tr/gaziantep-universitesi-ebys>

Adres : Gaziantep Üniversitesi Kampus Alanı, Tıp Fakültesi Dekanlığı, Şehitkamil - 27310 -

GAZİANTEP

Telefon : 0 (342) 360 60 60 Faks:0 (342) 360 16 17

e-Posta : tipfaksekg@gmail.com Web : www.gantep.edu.tr/~tipdekanlik/bilgipaketi

Kep Adresi : gauntipdek@hs01.kep.tr

Bilgi için : Hüseyin Temel

Unvanı : Bilgisayar İşletmeni V.



INTEGRAL TYPE REICH CONTRACTIONS ON BIPOLAR p -METRIC SPACES

Assoc. Prof. Dr. Nihal TAŞ

Balıkesir University,

nihaltas@balikesir.edu.tr - 0000-0002-4535-4019

ABSTRACT

Fixed-point theory is important because it provides foundational results applicable in various fields such as analysis, topology, and applied mathematics. It helps to understand the behavior of mathematical systems under specific conditions and is used in areas like differential equations, optimization, and game theory. Fixed-point theorems are powerful tools for proving the existence of solutions to complex problems and ensuring the stability of certain systems. One of the most studied areas of fixed-point theory is the generalization of the metric space being worked on. An example of these spaces is the concept of bipolar p -metric spaces. In this study, we define an integral type Reich contractive condition on bipolar p -metric spaces and provide a fixed-point theorem using this concept.

Keywords : Bipolar p -metric space, fixed point, integral type Reich contractive condition.

1. INTRODUCTION

Fixed point theory deals with the study of points that remain unchanged under a given function or mapping. In mathematical terms, a fixed point of a function f is a point x such that $fx = x$. This theory is important in various areas of mathematics, including analysis, topology, and economics, and it has applications in solving equations and optimization problems. Generalized metric spaces extend the concept of a traditional metric space by relaxing the usual conditions of a metric, allowing for a broader range of spaces to be considered. In these spaces, the distance function may not satisfy all the usual properties (such as symmetry or the triangle inequality), but it still provides a useful framework for discussing concepts like convergence, continuity, and fixed points. Generalized metric spaces are crucial for extending fixed point results to more general settings.

In this study, we present a new fixed-point theorem using integral type contraction via Wardowski and Reich type inequality on bipolar p -metric spaces.

2. PRELIMINARIES

In this section, we recall some necessary notions as follows:

Definition 2.1. [1] Let X be a nonempty set and $d_b : X \times X \rightarrow [0, \infty)$ be a mapping. If d_b satisfies the following conditions:

- (1) $d_b(x_1, x_2) = 0 \Leftrightarrow x_1 = x_2$,
- (2) $d_b(x_1, x_2) = d_b(x_2, x_1)$ for all $x_1, x_2 \in X$,
- (3) There exists a real number $s \geq 1$ such that $d_b(x_1, x_2) \leq s[d_b(x_1, x_3) + d_b(x_3, x_2)]$ for all $x_1, x_2 \in X$,

then d_b is called a b -metric on X and (X, d_b) is a b -metric space.

Definition 2.2. [2] Let (X, d_b) be a b -metric space and $\{x_n\}$ be a sequence on X . Then

- (1) $\{x_n\}$ is called a convergent sequence in (X, d_b) , if for every $\varepsilon > 0$, $\exists n_0 \in \mathbb{N}$ such that

$$d_b(x_n, x) < \varepsilon,$$

for all $n > n_0$.

- (2) $\{x_n\}$ is called a Cauchy sequence in (X, d_b) , if for every $\varepsilon > 0$, $\exists n_0 \in \mathbb{N}$ such that

$$d_b(x_n, x_{n+p}) < \varepsilon,$$

for all $n > n_0$ and $p > 0$.

- (3) (X, d_b) is called a complete b -metric space if every Cauchy sequence in X converges to some $x \in X$.

Definition 2.3. [3] Consider two nonempty sets X and Y . A mapping $d_{bi} : X \times Y \rightarrow [0, \infty)$ is called a bipolar-metric on (X, Y) if it satisfies the following conditions:

- (1) $d_{bi}(x_1, x_2) = 0 \Leftrightarrow x_1 = x_2$,
- (2) $d_{bi}(x_1, x_2) = d_{bi}(x_2, x_1)$ for all $x_1, x_2 \in X \cap Y$,
- (3) $d_{bi}(x_1, x_3) \leq d_{bi}(x_1, x_2) + d_{bi}(x_4, x_2) + d_{bi}(x_4, x_3)$ for all $(x_1, x_2), (x_4, x_3) \in X \times Y$.

Then (X, d_{bi}) is a bipolar-metric space.

Definition 2.4. [4] Let $X \neq \emptyset$. A mapping $d_p : X \times X \rightarrow [0, \infty)$ is called a p -metric if there exists a strictly increasing mapping $\Omega : [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ with $\Omega^{-1}(t) \leq t \leq \Omega(t)$ for all $t \geq 0$ and $\Omega^{-1}(0) = 0 = \Omega(0)$ such that for all $x_1, x_2, x_3 \in X$ and the following conditions hold:

- (1) $d_p(x_1, x_2) = 0 \Leftrightarrow x_1 = x_2$,
- (2) $d_p(x_1, x_2) = d_p(x_2, x_1)$ for all $x_1, x_2 \in X$,
- (3) $d_p(x_1, x_2) \leq \Omega(d_p(x_1, x_3) + d_p(x_3, x_2))$.

Then (X, d_p) is a p -metric space.

Definition 2.5. [5] Assume that Ω is a strictly increasing continuous function. Let us consider the two nonempty sets of mappings:

$$\psi = \{ \Omega : [0, \infty) \rightarrow [0, \infty) : \Omega^{-1}(t) \leq t \leq \Omega(t), \forall t \geq 0 \}$$

and

$$\psi^* = \{ \Omega \in \psi : \Omega^{-1}(t_1 + t_2) \leq \Omega^{-1}(t_1) + \Omega^{-1}(t_2), \forall t_1, t_2 \geq 0 \}.$$

Let X and Y be two nonempty sets. A mapping $p : X \times Y \rightarrow [0, \infty)$ is called a bipolar p -metric on (X, Y) if it satisfies the following conditions for a function $\Omega \in \psi$:

- (1) $p(x_1, x_2) = 0 \Leftrightarrow x_1 = x_2$,
- (2) $p(x_1, x_2) = p(x_2, x_1)$ for all $(x_1, x_2) \in (X \cap Y)^2$,
- (3) $p(x_1, x_3) \leq \Omega[p(x_1, x_2) + p(x_4, x_2) + p(x_4, x_3)]$ for all $(x_1, x_2), (x_4, x_3) \in X \times Y$.

Then (X, Y, p) is called a bipolar p -metric space.

Remark 2.6. [6] The definitions of sequence, Cauchy sequence, convergent sequence and completeness in a bipolar p -metric space are the same as in the case of a b -metric space.

Definition 2.7. [5] Let us consider two pairs of sets (X_1, Y_1) and (X_2, Y_2) . The function $f : X_1 \cup Y_1 \rightarrow X_2 \cup Y_2$ is called a covariant mapping if $f(X_1) \subset X_2$ and $f(Y_1) \subset Y_2$. It is denoted by

$$f : (X_1, Y_1) \xrightarrow{\quad} (X_2, Y_2).$$

Definition 2.8. [5] Let us consider two pairs of sets (X_1, Y_1) and (X_2, Y_2) . The function $f : X_1 \cup Y_1 \rightarrow X_2 \cup Y_2$ is called a contravariant mapping if $f(X_1) \subset Y_2$ and $f(Y_1) \subset X_2$. It is denoted by

$$f : (X_1, Y_1) \square (X_2, Y_2).$$

Definition 2.9. [7] Assume that $F : (0, \infty) \rightarrow \square$ satisfies the following conditions:

(F1) F is strictly increasing,

(F2) For every sequence $\{u_n\}_{n \in \square} \subset (0, \infty)$,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} u_n = 0 \Leftrightarrow \lim_{n \rightarrow \infty} F(u_n) = -\infty,$$

(F3) There exist $s \in (0, 1)$ such that

$$\lim_{t \rightarrow 0} t^s F(t) = 0.$$

\mathcal{F} is the collection of all functions F .

3. MAIN RESULTS

For every $\Omega \in \psi$, let us consider a subset of $(0, 1)$ denoted as Δ_Ω [8], which is given by

$$\Delta_\Omega = \left\{ \lambda \in (0, 1) : \lim_{n \rightarrow \infty} \Omega^{(p+1)} \left(\sum_{i=n}^{n+p} \Omega^{-(n+p-i)} [\lambda^i \Theta] \right) = 0 \text{ for any } p = 1, 2, \dots \text{ and any fixed } \Theta > 0 \right\}.$$

Using the integral type technique introduced in [9], we get the following Reich type [10] fixed-point theorem:

Theorem 3.1. Let (X, Y, p) be a complete bipolar p -metric space for some $\Omega \in \psi^*$ and a contravariant mapping $f : (X, Y, p) \square (X, Y, p)$ such that

$$\tau + F \left(\int_0^{p(fx, fy)} \varphi(s) ds \right) \leq c_1 F \left(\int_0^{p(x, y)} \varphi(s) ds \right) + c_2 F \left(\int_0^{p(x, Tx)} \varphi(s) ds \right) + c_3 F \left(\int_0^{p(Ty, y)} \varphi(s) ds \right)$$

for $(x, y) \in X \times Y$ and $\tau > 0$, where $c_1, c_2, c_3 \geq 0$ such that $c_1 + c_2 + c_3 < 1$,

$\left(\frac{c_1 + c_3}{1 - c_2} \right) \left(\frac{c_1 + c_2}{1 - c_2} \right) \in \Delta_\Omega$ and $\varphi : [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ is a Lebesgue-integrable mapping which is

summable, that is, with finite integral on each compact subset of $[0, \infty)$, nonnegative and such that

$$\int_0^{\varepsilon} \varphi(s) ds > 0$$

for each $\varepsilon > 0$. Then the function $f : X \cup Y \rightarrow X \cup Y$ has a unique fixed point for all $t > 0$, $c_3 t < \Omega^{-1}(t)$.

Proof. Let $x_0 \in X$. Let us take two sequences $\{x_n\} \subset X$ and $\{y_n\} \subset Y$ such that for some $n \geq 0$, $y_n = fx_n$ and $x_{n+1} = fy_n$ for all $n \in \mathbb{N}$. Then, we have

$$\begin{aligned} \tau + F\left(\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds\right) &= \tau + F\left(\int_0^{p(fy_{n-1}, fx_n)} \varphi(s) ds\right) \\ &\leq c_1 F\left(\int_0^{p(x_n, y_{n-1})} \varphi(s) ds\right) + c_2 F\left(\int_0^{p(x_n, fx_n)} \varphi(s) ds\right) + c_3 F\left(\int_0^{p(fy_{n-1}, y_{n-1})} \varphi(s) ds\right) \\ &= (c_1 + c_3) F\left(\int_0^{p(x_n, y_{n-1})} \varphi(s) ds\right) + c_2 F\left(\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds\right), \end{aligned}$$

for all $n \geq 1$. We obtain

$$\begin{aligned} F\left(\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds\right) - c_2 F\left(\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds\right) &\leq (c_1 + c_3) F\left(\int_0^{p(x_n, y_{n-1})} \varphi(s) ds\right) - \tau \\ \Rightarrow F\left(\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds\right) &\leq \left(\frac{c_1 + c_3}{1 - c_2}\right) F\left(\int_0^{p(x_n, y_{n-1})} \varphi(s) ds\right) - \frac{1}{1 - c_2} \tau. \end{aligned}$$

Again, we find

$$\begin{aligned} \tau + F\left(\int_0^{p(x_n, y_{n-1})} \varphi(s) ds\right) &= \tau + F\left(\int_0^{p(fy_{n-1}, fx_{n-1})} \varphi(s) ds\right) \\ &\leq c_1 F\left(\int_0^{p(x_{n-1}, y_{n-1})} \varphi(s) ds\right) + c_2 F\left(\int_0^{p(x_{n-1}, fx_{n-1})} \varphi(s) ds\right) + c_3 F\left(\int_0^{p(fy_{n-1}, y_{n-1})} \varphi(s) ds\right) \\ &= (c_1 + c_2) F\left(\int_0^{p(x_{n-1}, y_{n-1})} \varphi(s) ds\right) + c_3 F\left(\int_0^{p(x_n, y_{n-1})} \varphi(s) ds\right) \\ \Rightarrow (1 - c_3) F\left(\int_0^{p(x_{n-1}, y_{n-1})} \varphi(s) ds\right) &\leq (c_1 + c_2) F\left(\int_0^{p(x_{n-1}, y_{n-1})} \varphi(s) ds\right) - \tau \\ \Rightarrow F\left(\int_0^{p(x_n, y_{n-1})} \varphi(s) ds\right) &\leq \left(\frac{c_1 + c_2}{1 - c_3}\right) F\left(\int_0^{p(x_{n-1}, y_{n-1})} \varphi(s) ds\right) - \frac{1}{1 - c_3} \tau, \end{aligned}$$

for all $n \geq 1$. So we have

$$F \left(\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds \right) \leq \left(\frac{c_1 + c_3}{1 - c_2} \right) \left(\frac{c_1 + c_2}{1 - c_3} \right) F \left(\int_0^{p(x_{n-1}, y_{n-1})} \varphi(s) ds \right) - \left(\frac{c_1 + c_3}{1 - c_2} \right) \left(\frac{1}{1 - c_3} \right) \tau - \frac{1}{1 - c_2} \tau.$$

Let $\mu = \left(\frac{c_1 + c_3}{1 - c_2} \right) \left(\frac{c_1 + c_2}{1 - c_3} \right)$. Then we get

$$F \left(\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds \right) \leq \mu F \left(\int_0^{p(x_{n-1}, y_{n-1})} \varphi(s) ds \right) - \left(\frac{c_1 + c_3}{1 - c_3} - 1 \right) \left(\frac{1}{1 - c_2} \right) \tau$$

and so

$$F \left(\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds \right) \leq \mu^n F \left(\int_0^{p(x_0, y_0)} \varphi(s) ds \right) - n \left(\frac{c_1 + c_3}{1 - c_3} - 1 \right) \left(\frac{1}{1 - c_2} \right) \tau.$$

Let us take the limit $n \rightarrow \infty$, we get

$$\lim_{n \rightarrow \infty} F \left(\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds \right) = -\infty$$

and

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds = 0.$$

Therefore, $\forall n \in \mathbb{N}$, $\exists t \in (0, 1)$ such that

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left[\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds \right]^t F \left(\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds \right) = 0.$$

For all $n \in \mathbb{N}$, we obtain

$$\begin{aligned}
 & \left[\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds \right]^t F \left(\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds \right) - \left[\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds \right]^t F \left(\int_0^{p(x_0, y_0)} \varphi(s) ds \right) \\
 & \leq \left[\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds \right]^t \left(\mu^n F \left(\int_0^{p(x_0, y_0)} \varphi(s) ds \right) - n \left(\frac{c_1 + c_3}{1 - c_3} - 1 \right) \left(\frac{1}{1 - c_2} \right) \tau \right) \\
 & - \left[\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds \right]^t F \left(\int_0^{p(x_0, y_0)} \varphi(s) ds \right) \\
 & = - \left[\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds \right]^t n \left(\frac{c_1 + c_3}{1 - c_3} - 1 \right) \left(\frac{1}{1 - c_2} \right) \tau \leq 0.
 \end{aligned}$$

By the property of F , let us take the limit $n \rightarrow \infty$, we have

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n \left(\frac{c_1 + c_3}{1 - c_3} - 1 \right) \left(\frac{1}{1 - c_2} \right) \left[\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds \right]^t = 0.$$

Then, there exists $n_1 \in \mathbb{N}$ such that

$$n \left[\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds \right]^t \leq 1,$$

for all $n \geq n_1$. So, we get

$$\int_0^{p(x_n, y_n)} \varphi(s) ds = \frac{1}{n^{1/t}},$$

for all $n \geq n_1$. Again, we have

$$\begin{aligned}
 F\left(\int_0^{p(x_{n+1}, y_n)} \varphi(s) ds\right) &= F\left(\int_0^{p(fy_n, fx_n)} \varphi(s) ds\right) \\
 &\leq \left(\frac{c_1 + c_2}{1 - c_2}\right) F\left(\int_0^{p(x_{n+1}, y_n)} \varphi(s) ds\right) - \left(\frac{c_1 + c_3}{1 - c_3} - 1\right) \left(\frac{1}{1 - c_2}\right) \tau \\
 &\vdots \\
 &\leq \mu^n F\left(\int_0^{p(x_1, y_0)} \varphi(s) ds\right) - n \left(\frac{c_1 + c_3}{1 - c_3} - 1\right) \left(\frac{1}{1 - c_2}\right) \tau \\
 &\leq \mu^n \left(\frac{c_1 + c_2}{1 - c_3}\right) F\left(\int_0^{p(x_0, y_0)} \varphi(s) ds\right) - n \left(\frac{c_1 + c_2}{1 - c_3}\right) \left(\frac{c_1 + c_3}{1 - c_3} - 1\right) \left(\frac{1}{1 - c_2}\right) \tau
 \end{aligned}$$

and take the limit $n \rightarrow \infty$, we have

$$\lim_{n \rightarrow \infty} F\left(\int_0^{p(x_{n+1}, y_n)} \varphi(s) ds\right) = -\infty.$$

By the property of F , we obtain

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int_0^{p(x_{n+1}, y_n)} \varphi(s) ds = 0$$

and for all $n \in \mathbb{N}$, there exists $t \in (0, 1)$ such that

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left[\int_0^{p(x_{n+1}, y_n)} \varphi(s) ds \right]^t F\left(\int_0^{p(x_{n+1}, y_n)} \varphi(s) ds\right) = 0.$$

For all $n \in \mathbb{N}$, we get

$$\begin{aligned}
 &\left[\int_0^{p(x_{n+1}, y_n)} \varphi(s) ds \right]^t F\left(\int_0^{p(x_{n+1}, y_n)} \varphi(s) ds\right) - \left[\int_0^{p(x_{n+1}, y_n)} \varphi(s) ds \right]^t F\left(\int_0^{p(x_1, y_0)} \varphi(s) ds\right) \\
 &\leq \left[\int_0^{p(x_{n+1}, y_n)} \varphi(s) ds \right]^t \left[\mu^n F\left(\int_0^{p(x_1, y_0)} \varphi(s) ds\right) - n \left(\frac{c_1 + c_3}{1 - c_3} - 1\right) \left(\frac{1}{1 - c_2}\right) \tau \right] \\
 &\quad - \left[\int_0^{p(x_{n+1}, y_n)} \varphi(s) ds \right]^t F\left(\int_0^{p(x_1, y_0)} \varphi(s) ds\right) \\
 &= - \left[\int_0^{p(x_{n+1}, y_n)} \varphi(s) ds \right]^t n \left(\frac{c_1 + c_3}{1 - c_3} - 1\right) \left(\frac{1}{1 - c_2}\right) \tau \leq 0.
 \end{aligned}$$

By the property of F and taking the limit $n \rightarrow \infty$, we have

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n \left[\int_0^{p(x_{n+1}, y_n)} \varphi(s) ds \right]^t = 0.$$

There exists $n_2 \in \mathbb{N}$ such that

$$n \left[\int_0^{p(x_n, y_{n+1})} \varphi(s) ds \right]^t \leq 1,$$

for all $n \geq n_2$ and so

$$\int_0^{p(x_{n+1}, y_n)} \varphi(s) ds \leq \frac{1}{n^{1/t}},$$

for all $n \geq n_2$. Let us take $n_0 = \max\{n_1, n_2\}$. For any $1 \leq n < m$, we get

$$\begin{aligned} \int_0^{p(x_n, y_m)} \varphi(s) ds &\leq \int_0^{\Omega[p(x_n, y_n) + p(x_{n+1}, y_n) + p(x_{n+1}, y_m)]} \varphi(s) ds \\ &\Rightarrow \Omega^{-1} \left[\int_0^{p(x_n, y_m)} \varphi(s) ds \right] \leq \frac{1}{n^{1/t}} + \frac{1}{n^{1/t}} + \int_0^{p(x_{n+1}, y_m)} \varphi(s) ds \\ &= \frac{1}{n^{1/t}} + \frac{1}{n^{1/t}} + \int_0^{\Omega[p(x_{n+1}, y_{n+1}) + p(x_{n+2}, y_{n+1}) + p(x_{n+2}, y_m)]} \varphi(s) ds \\ &\Rightarrow \Omega^{-2} \left[\int_0^{p(x_n, y_m)} \varphi(s) ds \right] \leq \Omega^{-1} \left[\frac{1}{n^{1/t}} + \frac{1}{n^{1/t}} \right] + \frac{1}{(n+1)^{1/t}} + \frac{1}{(n+1)^{1/t}} + \int_0^{p(x_{n+2}, y_m)} \varphi(s) ds \end{aligned}$$

and so

$$\begin{aligned} \Omega^{-(m-n+1)} \left[\int_0^{p(x_n, y_m)} \varphi(s) ds \right] &\leq \Omega^{-(m-n)} \left[\frac{1}{n^{1/t}} + \frac{1}{n^{1/t}} \right] + \Omega^{-(m-n)} \left[\frac{1}{(n+1)^{1/t}} + \frac{1}{(n+1)^{1/t}} \right] \\ &+ \dots + \Omega^{-1} \left[\frac{1}{(m-1)^{1/t}} + \frac{1}{(m-1)^{1/t}} \right] + \int_0^{p(x_{m+1}, y_m)} \varphi(s) ds \leq \sum_{i=n}^m \Omega^{-(m-i)} \left[\frac{1}{i^{1/t}} + \frac{1}{i^{1/t}} \right], \end{aligned}$$

for all $n \geq n_0$. Hence, we obtain

$$\int_0^{p(x_n, y_m)} \varphi(s) ds \leq \Omega^{(m-n+1)} \left(\sum_{i=n}^m \Omega^{-(m-i)} \left[\frac{1}{i^{1/t}} + \frac{1}{i^{1/t}} \right] \right)$$

and for any $1 \leq m < n$, we get

$$\int_0^{p(x_n, y_m)} \varphi(s) ds \leq \Omega^{(m-n+1)} \left(\sum_{i=m}^n \Omega^{-(n-i)} \left[\frac{1}{i^{1/t}} + \frac{1}{i^{1/t}} \right] \right).$$

Since $t \in (0, 1)$, the series is biconvergent as $m, n \rightarrow \infty$. Hence, $\{x_n, y_n\}$ is Cauchy and $\{x_n, y_n\}$ biconverge to some $z \in X \cap Y$. Then we have

$$\tau + F \left(\int_0^{p(\hat{f}z, \hat{f}x_n)} \varphi(s) ds \right) \leq c_1 F \left(\int_0^{p(z, x_n)} \varphi(s) ds \right) + c_2 F \left(\int_0^{p(z, \hat{f}z)} \varphi(s) ds \right) + c_3 F \left(\int_0^{p(\hat{f}y_n, y_n)} \varphi(s) ds \right) \quad (3.1)$$

and

$$\int_0^{p(\hat{f}z, z)} \varphi(s) ds \leq \int_0^{\Omega[p(\hat{f}z, \hat{f}x_n) + p(y_n, \hat{f}y_n) + p(y_n, z)]} \varphi(s) ds. \quad (3.2)$$

Using (3.1) and (3.2), taking the limit as $n \rightarrow \infty$, we get

$$\int_0^{p(\hat{f}z, z)} \varphi(s) ds \leq \Omega \left[c_2 F \left(\int_0^{p(z, \hat{f}z)} \varphi(s) ds \right) \right].$$

If $\hat{f}z \neq z$, then we have

$$\int_0^{p(\hat{f}z, z)} \varphi(s) ds \leq \Omega \left[c_2 F \left(\int_0^{p(z, \hat{f}z)} \varphi(s) ds \right) \right] < \int_0^{p(\hat{f}z, z)} \varphi(s) ds,$$

a contradiction. Hence, z is a fixed point of f . Now, we show the uniqueness of z . To do this, w is another fixed point of f . Then we obtain

$$\begin{aligned} \tau + F \left(\int_0^{p(z, w)} \varphi(s) ds \right) &= \tau + F \left(\int_0^{p(\hat{f}z, \hat{f}w)} \varphi(s) ds \right) \\ &\leq c_1 F \left(\int_0^{p(z, w)} \varphi(s) ds \right) + c_2 F \left(\int_0^{p(z, \hat{f}z)} \varphi(s) ds \right) + c_3 F \left(\int_0^{p(\hat{f}w, w)} \varphi(s) ds \right) \\ &< \tau + F \left(\int_0^{p(z, w)} \varphi(s) ds \right) \end{aligned}$$

and so, we get

$$p(z, w) = 0 \Rightarrow z = w,$$

that is, f has a unique fixed point in (X, Y, p) . \square

Remark 3.2. If $\varphi(t) = 1$, Then Theorem 3.1 and Theorem 2 given in [11] are coincidence. Consequently, Theorem 3.1 generalizes Theorem 2.

KAYNAKÇA

1. Bakhtin, I. A. The contraction mapping principle in almost metric spaces. *Funct. Anal.* 1989, 30, 26-37.
2. George, R., Radenovic, S., Reshma, K. P. and Shukla, S. Rectangular b-metric space and contraction principles. *J. Nonlinear Sci. Appl.* 2015, 8, 1005-1013.
3. Mutlu, A. and Gurdal, U. Bipolar metric spaces and some fixed point theorems. *J. Nonlinear Sci. Appl.* 2016, 9, 5362-5373.
4. Parvaneh, V., Dinmohammadi, A. and Kadelburg, Z. Coincidence point results for weakly α -admissible pairs in extended b-metric spaces. *J. Math. Anal.* 2017, 8, 74-89.
5. Roy, K., Saha, M., George, R., Guran, L. and Mitrovic, Z. D. Some covariant and contravariant fixed point theorems over bipolar p-metric spaces and applications. *Filomat* 2022, 36, 1755-1767.
6. Konwar, N. and Debnath, P. Fixed-point results of F-contractions in bipolar p-metric spaces. *Axioms* 2024, 13, 773.
7. Wardowski, D. Fixed points of a new type of contractive mappings in complete metric spaces. *Fixed Point Theory Appl.* 2012, 2012, 94.
8. Roy, K., Saha, M., George, R., Guran, L. and Mitrovic, Z. D. Some covariant and contravariant fixed point theorems over bipolar p-metric spaces and applications. *Filomat* 2022, 36, 1755-1767.
9. Branciari, A. A fixed point theorem for mappings satisfying a general contractive condition of integral type. *International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences.* 2002, 29 (9), 531-536.
10. Reich, S. Some Remarks concerning contraction mappings. *Canadian Mathematical Bulletin* 1971, 14, 121-124.
11. Konwar, N. and Debnath, P. Fixed-point results of F-contractions in bipolar p-metric spaces. *Axioms* 2024, 13, 773.

SOME EXISTENCE FIXED-CIRCLE RESULTS WITH THE FUNCTION Ω ON S-METRIC SPACES

Assoc. Prof. Dr. Nihal TAŞ

Balıkesir University,

nihaltas@balikesir.edu.tr - 0000-0002-4535-4019

ABSTRACT

Fixed-point theory has gained significant attention in recent years and continues to be explored from various perspectives in the literature. One such approach involves generalizing the metric spaces used in the theory. An example of this generalization is the concept of S -metric spaces. Another approach is to find new solutions to the fixed-circle problem when there are multiple fixed points. In this study, we present new fixed-circle theorems on S -metric spaces with the aid of an auxiliary function Ω .

Keywords : Fixed-circle problem, S -metric space, auxiliary function.

1. INTRODUCTION

The concept of a “fixed-circle” in metric spaces refers to a generalized notion of a circle, where certain properties, such as the center or radius, are fixed within the space. In the context of metric spaces, a fixed-circle can be seen as a set of points that maintain a constant distance from a central point, but this idea extends beyond Euclidean geometry to include various types of distance functions. As the fixed-circle problem evolves, one of the key considerations is the increase in the number of fixed points associated with these circles. In metric spaces, fixed points refer to points that remain unchanged under specific transformations, such as distance-preserving maps. The growth in the number of fixed points often correlates with the properties of the space itself, such as its topology, compactness, or curvature. Understanding how these fixed points increase in number as the structure of the space changes provides crucial insights into the underlying geometry and topology of the metric space, highlighting the complex interactions between geometric objects and the space’s distance function.

By the above motivations, in this study, our main aim is to investigate new answers to the fixed-circle problem introduced in [1]. We give some fixed-circle results on S -metric spaces using the auxiliary function Ω .

2. PRELIMINARIES

In this section, we recall some necessary concepts as follows:

Definition 2.1. [2] Let X be a nonempty set and the mapping $S : X \times X \times X \rightarrow [0, \infty)$ satisfies the following conditions:

$$(S_1) \quad S(x, y, z) = 0 \Leftrightarrow x = y = z \text{ for all } x, y, z \in X,$$

$$(S_2) \quad S(x, y, z) \leq S(x, x, t) + S(y, y, t) + S(z, z, t) \text{ for all } x, y, z, t \in X.$$

Then S is called an S-metric and the pair (X, S) is called an S-metric space.

Lemma 2.2. [2] Let (X, S) be an S-metric space and $x, y \in X$. Then we have

$$S(x, x, y) = S(y, y, x).$$

Definition 2.3. [3] Let (X, d) be a metric space. Then the function $S_d : X \times X \times X \rightarrow [0, \infty)$ defined by

$$S_d(x, y, z) = d(x, z) + d(y, z),$$

for all $x, y, z \in X$ is an S-metric on X . The S-metric S_d is called the S-metric generated by d .

Definition 2.4. [4] Let (X, S) be an S-metric space. A circle $C_{x_0, r}^S$ is defined by

$$C_{x_0, r}^S = \{x \in X : S(x, x, x_0) = r\},$$

with the center x_0 and the radius r .

Definition 2.5. [4] Let (X, S) be an S-metric space, $C_{x_0, r}^S$ be a circle and $T : X \rightarrow X$ be a self-mapping. If $Tx = x$ for all $x \in C_{x_0, r}^S$ then the circle $C_{x_0, r}^S$ is called a fixed circle of T .

3. MAIN RESULTS

Assume (X, S) is an S-metric space. Let us define the mapping $\Omega : X \rightarrow [0, \infty)$ as

$$\Omega(x) = \begin{cases} S(x, x, x_0) & , \quad 0 < r < 1 \\ m_S(x, x_0) & , \quad r \geq 1 \end{cases},$$

for all $x \in X$, where x_0 is the center of the circle $C_{x_0, r}^S$, r is a radius of the circle $C_{x_0, r}^S$ and

$$m_S(x, x_0) = \frac{S(x, x, x_0)}{1 + S(x, x, x_0)}.$$

Let

$$\square = \{1, 2, 3, \dots\}$$

be a set of natural numbers, $T : X \rightarrow X$ be a self-mapping and

$$Fix(T) = \{x \in X : Tx = x\}$$

be a set of fixed points of T .

Now we prove the following fixed-circle theorems according to the mapping Ω .

Theorem 3.1. Let (X, S) be an S-metric space and $C_{x_0, r}^S$ be any circle on X . If there exists a self-mapping $T : X \rightarrow X$ satisfying

$$(I) S(Tx, Tx, x) \leq [\Omega(x)]^p [\Omega(Tx)]^q,$$

$$(II) S(Tx, Tx, x_0) = r,$$

for each $x \in C_{x_0, r}^S$ and $p, q \in \square$, then we have

$$C_{x_0, r}^S \subset Fix(T),$$

that is, $C_{x_0, r}^S$ is a fixed circle of T on (X, S) .

Proof. Let $x \in C_{x_0, r}^S$ be any point. Let us consider the following cases:

Case 1: Let $0 < r < 1$. By (I) and (II), we get

$$\begin{aligned} S(Tx, Tx, x) &\leq [\Omega(x)]^p [\Omega(Tx)]^q \\ &= [S(x, x, x_0)]^p [S(Tx, Tx, x_0)]^q \\ &= r^p r^q = r^{p+q} = r^n \rightarrow 0, \end{aligned}$$

as $n \rightarrow \infty$. Then, we get

$$S(Tx, Tx, x) = 0,$$

that is, $Tx = x$. Hence, we obtain

$$C_{x_0, r}^S \subset Fix(T).$$

Case 2: Let $r \geq 1$. By (I) and (II), we get

$$\begin{aligned}
 S(Tx, Tx, x) &\leq [\Omega(x)]^p [\Omega(Tx)]^q \\
 &= [m_s(x, x_0)]^p [m_s(Tx, x_0)]^q \\
 &= \left[\frac{S(x, x, x_0)}{1 + S(x, x, x_0)} \right]^p \left[\frac{S(Tx, Tx, x_0)}{1 + S(Tx, Tx, x_0)} \right]^q \\
 &= \left[\frac{r}{1+r} \right]^p \left[\frac{r}{1+r} \right]^q = \left[\frac{r}{1+r} \right]^{p+q} = \left[\frac{r}{1+r} \right]^n \rightarrow 0,
 \end{aligned}$$

as $n \rightarrow \infty$. Then, we get

$$S(Tx, Tx, x) = 0,$$

that is, $Tx = x$. Hence, we obtain

$$C_{x_0, r}^S \subset \text{Fix}(T).$$

Under these cases, we say that $C_{x_0, r}^S$ is a fixed circle of T . \square

Now, we give the following corollaries:

Corollary 3.2. Let (X, S) be an S-metric space and $C_{x_0, r}^S$ be any circle on X . If there exists a self-mapping $T : X \rightarrow X$ satisfying

$$(I) S(Tx, Tx, x) \leq [\Omega(x)]^n - [\Omega(Tx)]^n,$$

$$(II) S(Tx, Tx, x_0) = r,$$

for each $x \in C_{x_0, r}^S$ and $n \in \mathbb{N}$, then we have

$$C_{x_0, r}^S \subset \text{Fix}(T),$$

that is, $C_{x_0, r}^S$ is a fixed circle of T on (X, S) .

Corollary 3.3. Let (X, S) be an S-metric space and $C_{x_0, r}^S$ be any circle on X . If there exists a self-mapping $T : X \rightarrow X$ satisfying

$$(I) S(Tx, Tx, x) \leq [\Omega(x)]^n + [\Omega(Tx)]^n - 2r^n,$$

$$(II) S(Tx, Tx, x_0) = r,$$

for each $x \in C_{x_0, r}^S$ and $n \in \mathbb{N}$, then we have

$$C_{x_0, r}^S \subset \text{Fix}(T),$$

that is, $C_{x_0, r}^S$ is a fixed circle of T on (X, S) .

Corollary 3.4. Let (X, S) be an S-metric space and $C_{x_0, r}^S$ be any circle on X . If there exists a self-mapping $T : X \rightarrow X$ satisfying

$$(I) S(Tx, Tx, x) \leq [\Omega(x)]^n - [\Omega(Tx)]^n,$$

$$(II) hS(Tx, Tx, x) + [S(Tx, Tx, x_0)]^n = r^n,$$

for each $x \in C_{x_0, r}^S$, some $h \in (0, 1)$ and $n \in \mathbb{N}$, then we have

$$C_{x_0, r}^S \subset \text{Fix}(T),$$

that is, $C_{x_0, r}^S$ is a fixed circle of T on (X, S) .

Corollary 3.5. Let (X, S) be an S-metric space and $C_{x_0, r}^S$ be any circle on X . If there exists a self-mapping $T : X \rightarrow X$ satisfying

$$(I) S(Tx, Tx, x) \leq \left[\frac{\Omega(Tx)}{\Omega(x)} \right]^n - 1,$$

$$(II) S(Tx, Tx, x_0) = r,$$

for each $x \in C_{x_0, r}^S$ and $n \in \mathbb{N}$, then we have

$$C_{x_0, r}^S \subset \text{Fix}(T),$$

that is, $C_{x_0, r}^S$ is a fixed circle of T on (X, S) .

Corollary 3.6. Let (X, S) be an S-metric space and $C_{x_0, r}^S$ be any circle on X . If there exists a self-mapping $T : X \rightarrow X$ satisfying

$$(I) S(Tx, Tx, x) \leq [\Omega(x)]^n [\Omega(Tx)]^n - r^{2n},$$

$$(II) S(Tx, Tx, x_0) = r,$$

for each $x \in C_{x_0,r}^S$ and $n \in \mathbb{N}$, then we have

$$C_{x_0,r}^S \subset \text{Fix}(T),$$

that is, $C_{x_0,r}^S$ is a fixed circle of T on (X, S) .

Remark 3.7.

(i) Theorem 3.1 (resp. Corollary 3.2, Corollary 3.3, Corollary 3.4, Corollary 3.5 and Corollary 3.6) generalizes Theorem 2.8 (resp. Corollary 2.1, Corollary 2.2, Corollary 2.3, Corollary 2.4 and Corollary 2.7) proved in [5].

(ii) If we consider Theorem 3.1 (resp. Corollary 3.2, Corollary 3.3, Corollary 3.4, Corollary 3.5 and Corollary 3.6), then we have

$$Tx \in C_{x_0,r}^S,$$

for each $x \in C_{x_0,r}^S$.

KAYNAKÇA

1. Özgür, N. Y. and Taş, N. Some fixed-circle theorems on metric spaces, Bulletin of the Malaysian Mathematical Sciences Society, 42 (2019) 1433-1449.
2. Sedghi, S., Shobe, N. and Aliouche, A. A generalization of fixed point theorems in S-metric spaces, Matematiski Vesnik, 64 (3) (2012) 258-266.
3. Özgür, N. Y. and Taş, N. Some new contractive mappings on S-metric spaces and their relationships with the mapping (S25), Mathematical Sciences, 11 (1) (2017) 7-16.
4. Özgür, N. Y. and Taş, N. Fixed-circle problem on S-metric spaces with a geometric viewpoint, Facta Universitatis, Series: Mathematics and Informatics, 34 (2019) 459-472.
5. Karağaç, K., Kızanlık, Ö. M. and Taş, N. New contributions to nonunique fixed-point results via power type contractions, Electronic Journal of Mathematical Analysis and Applications, 11 (1) (2023) 206-221.

Kriging ve IDW Yöntemleri ile Orta Karadeniz'de Kuraklık Dağılımının Belirlenmesi

Dr. Öğr. Üyesi Tahsin BAYKAL

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
tahsinbaykal@kku.edu.tr - 0000-0001-6218-0826

Öğr. Gör. Dr. Ahmet İLKER

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu
ahmetilker@karatekin.edu.tr - 0000-0002-6276-7309

ÖZET

Bu çalışmada, Orta Karadeniz Bölümü'nde yer alan Samsun, Ordu, Amasya, Çorum ve Tokat illerindeki meteorolojik kuraklıkların mekânsal ve zamansal incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için ilk olarak 1981-2022 yıllarına ait aylık toplam yağış değerleri ile Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ) hesaplanmıştır. SYİ değerleri incelendiğinde Ocak ve Nisan 2014'te Tokat ve Amasya illerinde aşırı kuraklıklar yaşanmıştır. Daha sonra hesaplanan SYİ değerleri ile Ocak 2014 dönemi için Kriging ve Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemleriyle kuraklık haritası oluşturulmuştur. Kriging ve IDW enterpolasyon yöntemleri ile oluşturulan kuraklık haritası incelendiğinde her iki yöntemde benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Kriging ve IDW yöntemleri ile oluşturulan kuraklık haritalarından bu dönemde Amasya ve Tokat illerinde aşırı kuraklıkların yaşandığı görülmüştür. Çorum ve Ordu illeri ise bu dönemde kuraklıklardan en az etkilenen iller olduğu görülmektedir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde Samsun, Amasya ve Tokat illeri Ocak 2014 döneminde kuraklıklardan Çorum ve Ordu illerine kıyasla daha fazla etkilenmiştir. Bu illerde su kaynaklarını daha etkili ve sürdürülebilir kullanılması gerekmektedir. Gelecekteki çalışmalarda daha geniş zaman dilimleri için farklı kuraklık indeksleri ve diğer enterpolasyon yöntemlerinin kullanılması bölgedeki kuraklık riskinin azaltılmasında daha etkin olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Meteorolojik Kuraklık, Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ), Kriging, Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW), Orta Karadeniz Bölgesi

1. GİRİŞ

Kuraklık, yağış miktarının normal seviyeye göre azalması sebebiyle su kaynaklarında ve çevrede olumsuzlukların görülmesine ve hidrolojik döngünün bozulmasına sebebiyet veren doğal olay olarak betimlenmektedir [1,2]. Kuraklık, her bölgede ve iklimde görülse de özellikle kurak ve yarı kurak olarak tanımlanan bölgelerde daha fazla ve şiddetli bir şekilde görülür. Kuraklık ortaya çıkışından itibaren haftalar, aylar ve hatta yıllarca olacak şekilde uzun zaman boyunca sürebilir [3,4]. Kuraklık genel olarak, meteorolojik kuraklık, tarımsal kuraklık, hidrolojik kuraklık ve sosyoekonomik kuraklık olarak sınıflandırılmaktadır. Yağış miktarındaki azlık sebebiyle meydana gelen kuraklık Meteorolojik Kuraklık; zemin neminin azalması nedeniyle tarım ürünlerinin azalmasıyla meydana gelen kuraklık Tarımsal Kuraklık olarak betimlenmektedir. Bununla birlikte, yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarındaki su seviyesinin

ihtiyaç duyulan miktarın altına düşmesi nedeniyle meydana gelen kuraklık Hidrolojik Kuraklık; su kaynaklarındaki azlık neticesinde ekonomik ürünlerin taleplerinin arzdan fazla olmasıyla meydana gelen kuraklık Sosyoekonomik Kuraklık olarak tanımlanmaktadır [5-7].

Meteorolojik kuraklık, kuraklık sınıflandırılmasında bulunan kuraklıklar içerisinde ilk önce görülen kuraklık türüdür. Bu sebeple meteorolojik kuraklık analizi araştırmacılar tarafından yaygın olarak yapılmaktadır. Meteorolojik kuraklık analizinde farklı birçok indisler kullanılmakta, bu indislerde başta yağış ve sıcaklık olmak üzere evapotranspirasyon, potansiyel evapotranspirasyon, rüzgar hızı ve güneş radyasyonu gibi veriler kullanılmaktadır. Meteorolojik kuraklığın belirlenmesinde sıklıkla Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ) kullanılmakla birlikte, Aridity Anomali İndisi (AAİ), Ondalık Kuraklık İndisi (Dİ), Keşif Kuraklık İndisi (RDİ), Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSİ), Standartlaştırılmış Yağış-Evapotranspirasyon İndisi (SPEİ) ve Tarımsal Kuraklık Referans İndisi (ARİD) gibi çok çeşitli indisler kullanılmaktadır [8,9].

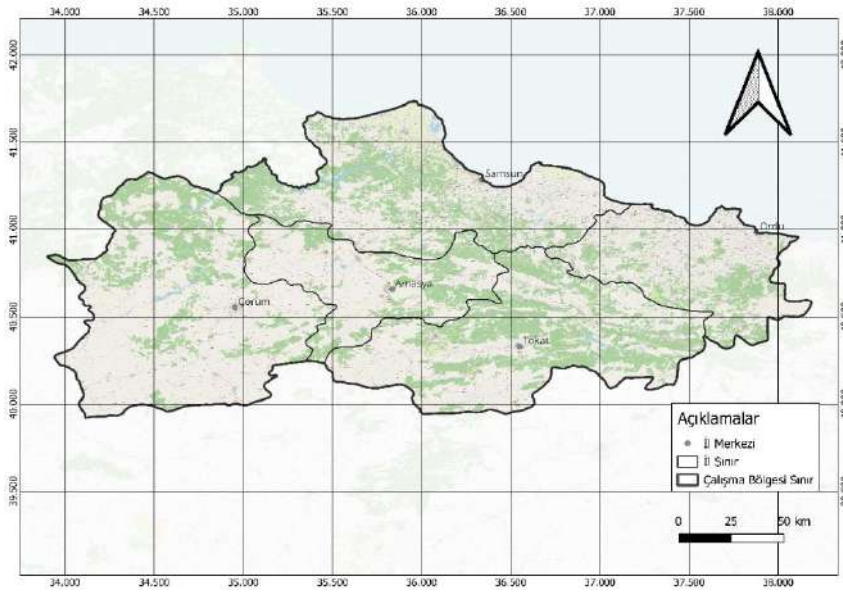
Meteorolojik Kuraklık analizi çeşitli indisler kullanılarak birçok araştırmacı tarafından ülkemizin ve dünyanın farklı bölgeleri için yapılmıştır. Yüce vd. [4] Samsun için SYİ ve SPEİ yöntemleri ile kuraklık analizi yapmışlardır. En az tespit edilen çok şiddetli kuraklık olurken, en çok tespit edilenin normal kuraklık olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca her iki yöntemde göre de 1950 yılında uzun zaman devam eden kuraklık tespit etmişlerdir. Dinç vd. [2] Antalya’da bulunan sekiz meteoroloji istasyonunun yağış verileriyle SYİ yöntemi ile meteorolojik kuraklık analizi gerçekleştirdiklerini, SYİ değerlerine ait eğilimin normale yakın kurak olduğunu ve mevsimsel olarak incelemede hem kış mevsiminde hem de yaz mevsiminde kuraklık tespit edildiğini ifade etmişlerdir. Şener ve Şener [10] Çorak Gölü Havzası çevresinde bulunan altı meteoroloji istasyonunun yağış verileri ile SYİ yöntemiyle kuraklık analizi yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, 2009 yılının en yağışlı yıl, 1989 ve 1990 yıllarının ise en kurak yıllar olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca çalışma bölgesi için kuraklık haritaları oluşturmuşlardır. Keskiner vd. [11] Seyhan Havzası ve civarında bulunan 41 meteoroloji istasyonunun verilerini kullanarak SYİ yöntemiyle kuraklık analizi yapmışlardır. SYİ yönteminden elde edilen veriler ile Ordinary Cokriging yöntemini kullanarak 2 ve 10 yıl frekansındaki kuraklık haritalarını oluşturmuşlardır. Çalışma bölgesinin büyük bir bölümünde 10 yıl frekansındaki kuraklıkların görüldüğünü belirtmişlerdir.

Bu çalışmada Karadeniz Bölgesi’nin Orta Karadeniz Bölümü’ndeki Samsun, Ordu, Amasya, Çorum ve Tokat illerinde Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ) ile Meteorolojik Kuraklıklar saptanmıştır. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının verileri ile elde edilen SYİ değerleri Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında Kriging ve Ters Uzaklık Ağırlıklı (Inverse Distance Weighted –IDW) enterpolasyon yöntemleriyle interpolate edilerek kuraklık haritaları oluşturulmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Bölgesi ve Veriler

Karadeniz Bölgesi'nin üç bölümünden biri olan Orta Karadeniz Bölümü'nün sınırları Ordu ilindeki melet çayından Sinop ilinin doğusuna kadar uzanır. Orta Karadeniz Bölümü, Doğu Karadeniz Bölümü'ne kıyasla güneye daha fazla inerek Amasya ilinin tamamını, Tokat ve Çorum illerinin büyük bir bölümünü ve Samsun ile Ordu illerini kapsar. Diğer iki bölüme kıyasla yer şekilleri daha sadedir. Bölümde dağların yükseltileri azalarak içeriye doğru çekilmesi sebebiyle ulaşım ve tarım oldukça gelişmiştir. Orta Karadeniz Bölümü, bölgenin en az yağış alan bölümü olmakla birlikte kıyı ile iç kesimlerinin arasında yağış farklılığının en az olduğu bölümdür [12]. Çalışma bölgesinin haritası Görsel 1'de verilmiştir.



Görsel 1. Çalışma bölgesi haritası

2.2. Standartlaştırılmış Yağış İndisi

Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ) ilk olarak McKee vd. [6] tarafından ileri sürülmüştür. SYİ temel olarak, belirlenmiş bir zamanda yağış verilerinin ortalamasından olan farkının standart sapmaya bölünerek hesaplanmaktadır. Boyutsuz serileri oluşturmak için kullanılan SYİ Denklem 1'de verilmiştir.

$$SYİ = \frac{X_i - X_{ort}}{\sigma} \quad (1)$$

Denklemde, X_i aylık yağış değerini, X_{ort} uzun süreli yağış değerlerinin ortalamasını ve σ yağış değerlerinin standart sapmasını tanımlamaktadır [13]. Denklem 1'de verilen eşitle hesaplanan SYİ değerlerinin sınıflandırılması McKee vd. [6] tarafından Çizelge 1'de verildiği şekilde yapılmıştır.

Çizelge 1. SYİ değerlerinin sınıflandırması

SYİ Değerleri	Sınıflandırma
---------------	---------------

2.0 ve yukarısı	Çok Şiddetli Yağışlı
1.50– 1.99 arası	Şiddetli Yağışlı
1.00 – 1.49 arası	Orta Şiddetli Nemli
-0.99 – 0.99 arası	Normal
-1.00 – -1.49 arası	Orta Şiddetli Kurak
-1.50 – -1.99 arası	Şiddetli Kurak
-2.00 ve aşağısı	Çok Şiddetli Kurak

2.3. Kriging Yöntemi

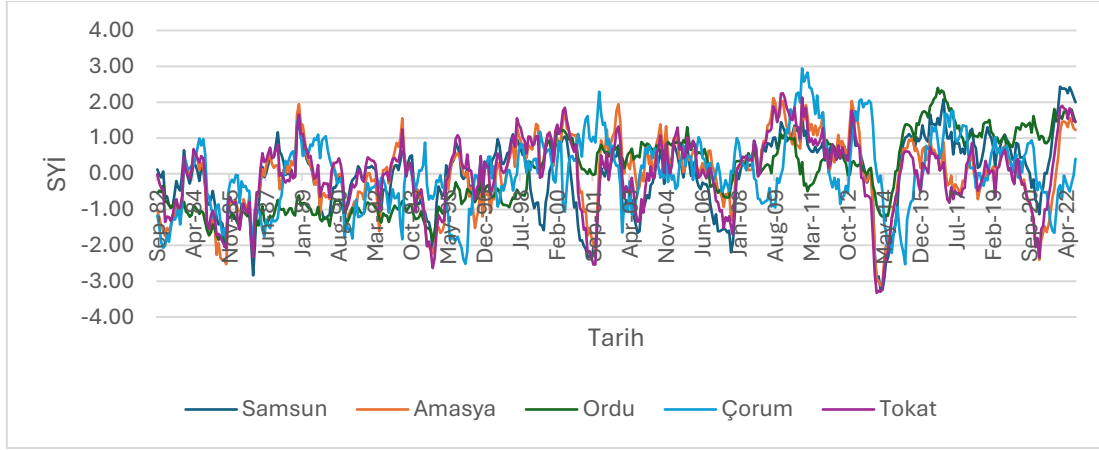
Kriging enterpolasyon yönteminin temeli, bilinen yakın noktaların verilerinin kullanılmasıyla diğer noktaların en uygun değerinin tahmin edilmesi esasına dayanır [14,15]. Bu yöntem, geoistatistiksel bir yöntem olup konumsal tahmin gerçekleştirmek için geliştirilmiştir. Kriging bilinen en iyi doğrusal yansız tahminci ya da en iyi doğrusal yansız hesap edici olarak betimlenmektedir ki bu matematiksel jeodezide kollokasyon olarak ifade edilmektedir [16]. Kriging yönteminde kestirilen her bir nokta veya alan için bir varyans değeri hesap edilebilir, bu kestirilen değer güven derecesinin bir ölçüsüdür. Bu durum, enterpolasyon yöntemleri içerisinde kriging enterpolasyon yöntemini ayırt eden en önemli özellik olarak öne çıkmaktadır [15].

2.4. Ters Mesafe Ağırlıklı (Inverse Distance Weighting-IDW) Enterpolasyon Yöntemi

Ters Mesafe Ağırlıklı enterpolasyon yöntemi, jeostatistik olmayan enterpolasyon yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Yöntemin esası, bilinmeyen noktaların hücre değerlerini saptamak için bilinen numune noktalarının değerlerini kullanılmasına dayanır. Sadece komşu noktaları kullanarak kestirimler yaptığı için yerel bir ara değer kestirimi yapar. Enterpolasyon yapılacak yüzey üzerinde uzak noktalara oranla yakın noktaların daha fazla ağırlığa sahip olması yöntemin temelini oluşturur. Bu yöntem basit bir algoritma yapısına sahip olması ve programlama tekniği açısından uygun olması açısından belirli bir alanda sürekli değişim verilerin enterpolasyonun yapılmasında sıklıkla kullanılmaktadır [17].

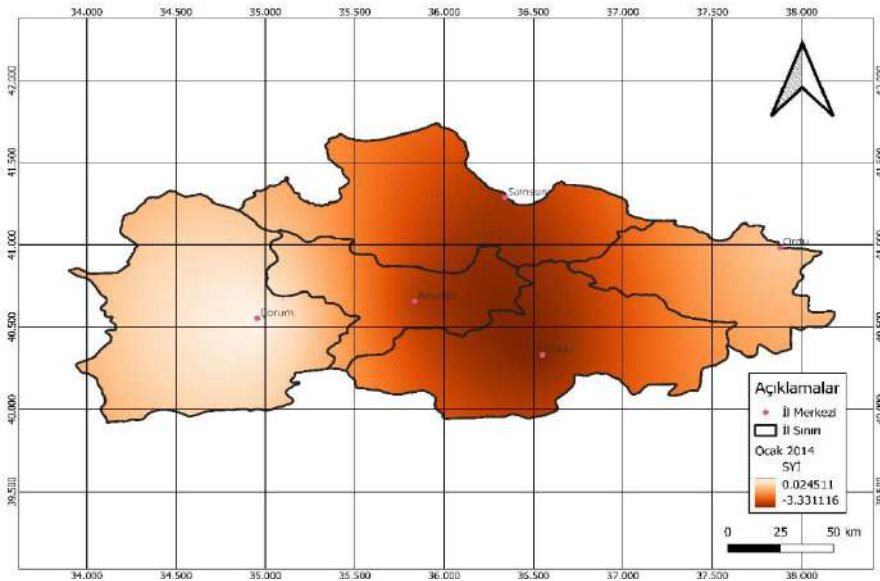
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada Orta Karadeniz Bölümü'nde bulunan Samsun, Ordu, Amasya, Çorum ve Tokat illerinin kuraklık haritaları IDW ve Kriging enterpolasyon yöntemleri ile oluşturulmuştur. Bunun için 1981-2022 yılları arasındaki aylık toplam yağışlar kullanılmıştır. İlk olarak bu illere ait 12 aylık standart yağış indisi (SYİ) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan SYİ değerlerine ait zaman serisi grafiği Görsel 2'de verilmiştir.



Görsel 2. Orta Karadeniz Bölümünde bulunan şehirlerin 12 aylık SYİ değerleri

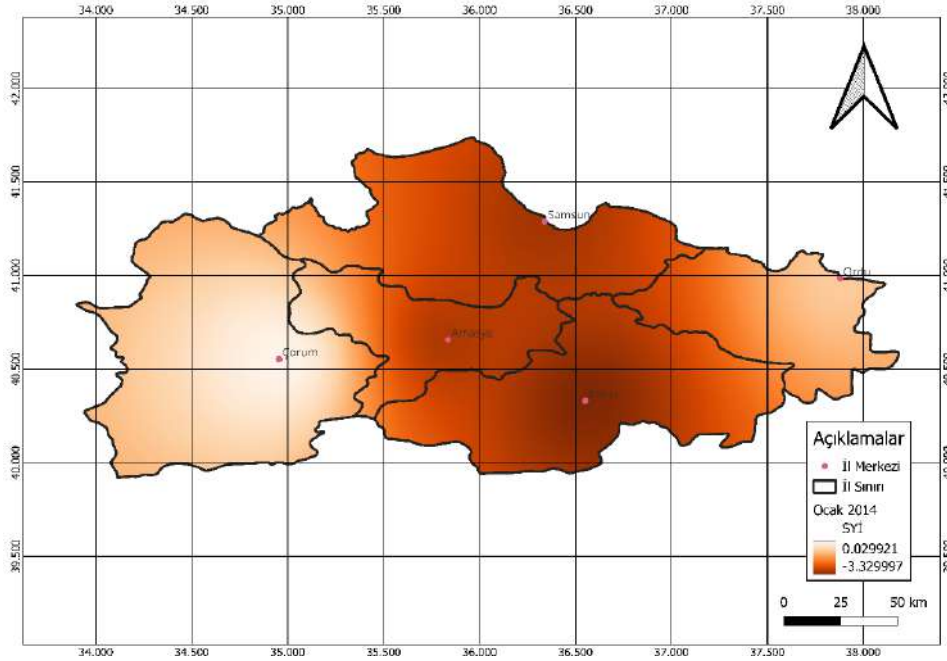
Görsel 2 incelendiğinde tüm illerde SYİ değerinin -3 ile +3 arasında değiştiği görülmektedir. SYİ değerinin çoğunlukla -0.99 ila +0.99 arasındadır. Bu da incelenen dönemde bölgedeki kuraklık sınıfının genellikle normal olduğunu göstermektedir. Samsun ilinde şiddetli kuraklık ($SYİ < -2$) toplamda 22 kez gözlemlenmiştir. En şiddetli kuraklık ise -3.25 SYİ değeri ile Nisan 2014 yılındadır. Amasya ilinde şiddetli kuraklık 17 kez gözlemlenirken, en şiddetli kuraklık -3.12 ile Mart 2014 yılındadır. Çorum'da toplamda 11 kez şiddetli kuraklık yaşanmıştır. En şiddetli kuraklık -2.53 ile Nisan 2015'tedir. Tokat'ta 21 kez şiddetli kuraklık yaşanmıştır. Bu ilde en şiddetli kuraklık -3.33 ile Ocak 2014'te gözlemlenmiştir. Ordu ilinde ise bu dönemde şiddetli kuraklık görülmemiştir. Daha sonra kuraklıkların zamansal ve mekânsal değişimlerini incelemek için beş ilin Ocak 2014'teki SYİ değerlerini kullanarak Kriging ve Ters Uzaklık Ağırlıklı (IDW) yöntemleri ile kuraklık haritaları oluşturulmuştur. Kriging ile oluşturulan harita Görsel 2'de, IDW ile oluşturulan harita ise Görsel 3'te verilmiştir.



Görsel 2. Kriging yöntemi ile oluşturulan kuraklık haritası

Görsel 2'den Kriging yöntemi ile oluşturulan kuraklık haritası incelendiğinde SYİ değerlerinin 0.02 ila -3.33 olduğu anlaşılmaktadır. Amasya ve Tokat illerinde ciddi kuraklık koşulları olduğu

belirlenmiştir. Bu illerin SYİ değerleri -3.33 ila -2.50 arasındadır. Çorum ili, orta düzeyde negatif SYİ değerlerine sahip olup, kuraklık koşullarının Amasya ve Tokat illerine kıyasla daha az şiddetli olduğu gözlemlenmiştir. Samsun ve Ordu illeri, yağış eksikliğinin diğer illere göre daha düşük düzeyde olduğunu göstermektedir.



Görsel 3. IDW yöntemi ile oluşturulan kuraklık haritası

Görsel 3 incelendiğinde IDW yönteminde bölgedeki kuraklık değerlerinin 0.03 ila -3.33 arasında olduğu görülmektedir. Amasya ve Tokat illerinde, SYİ değerlerinin oldukça düşük olduğunu ve şiddetli kuraklık koşullarının bu bölgelerde yoğunlaştığını göstermektedir. Bu illerdeki SYİ değerleri Kriging yöntemi ile oluşturulan haritaya benzer çıkmıştır (SYİ değeri -3.33 ila -2.50 arasındadır). Çorum ilindeki Kuraklık şiddeti bu iki ile kıyasla daha düşüktür. Samsun ve Ordu illeri ise Ocak 2014 dönemindeki kuraklıktan en az etkilenen iller olmuştur.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Orta Karadeniz Bölümü'nde yer alan Samsun, Ordu, Amasya, Çorum ve Tokat illerinin kuraklık zamansal ve mekânsal olarak incelenmiştir. Kuraklıkların zamansal olarak incelenmesi için 1981-2022 yılları arasındaki aylık yağış verilerine dayanarak hesaplanan 12 aylık Standart Yağış İndisi (SYİ) değerleri, bölgedeki kuraklık durumunu değerlendirmek için kullanılmıştır. SYİ analizine göre, bölgedeki kuraklık koşullarının genellikle normal sınırlarda olduğu, ancak zaman zaman şiddetli kuraklık olaylarının yaşandığı belirlenmiştir. Özellikle Ocak 2014 ve Nisan 2014 dönemleri, Tokat ve Amasya illerinden şiddetli kuraklıklar yaşanmıştır. Mekansal analizler için Ocak 2014 dönemine ait SYİ değerleri kullanılarak Kriging ve Ters Uzaklık Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemleri ile kuraklık haritaları oluşturulmuştur.

Kriging ve IDW enterpolasyon yöntemleri ile oluşturulan kuraklık haritalarından, bölgedeki kuraklıkların dağılımının benzer olduğu görülmüştür. Bu dönemde her iki yöntemde de Amasya ve Tokat illerinde, şiddetli kuraklıkların yaşandığı belirlenmiştir. Buna karşın, Çorum ve Ordu illeri, Ocak 2014 dönemindeki kuraklık koşullarından en az etkilenen bölgeler olmuştur.

Bu bulgular, Orta Karadeniz Bölümü'nde kuraklık risk yönetimi ve su kaynakları planlaması için önemli veriler sağlamaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı enterpolasyon yöntemlerinin ve kuraklık indekslerinin karşılaştırılarak daha geniş bir perspektifle ele alınması önerilmektedir. Ayrıca, iklim değişikliği etkilerinin uzun vadeli projeksiyonlarla değerlendirilmesi, bölgedeki kuraklık yönetimine katkı sunacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] WMO. (1997). Extreme agrometeorological events 73, 182.
- [2] Dinç, N., Aydınşakir, K., Işık, M., Büyüktaş, D. Standartlaştırılmış yağış indeksi (SPI) yöntemi ile Antalya ili kuraklık analizi, *Derim*, 33(2), 279-298, 2016.
- [3] Thomas, J., Prasannakumar, V. Temporal analysis of rainfall (1871–2012) and drought characteristics over a tropical monsoon-dominated State (Kerala) of India, *Journal of Hydrology*, 534, 266-280, 2016.
- [4] Yüce, M. İ., Aksoy, H., Aytekin, A., Eşit, M., Uğur, F., Yaşa, İ., Şimşek, A., Deger, İ. H. SPI ve SPEI ile Samsun ili kuraklık analizi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(3), 285-295, 2022.
- [5] Dracup, J. A., Lee, K. S., Paulson Jr, E. G. On the definition of droughts, *Water resources research*, 16(2), 297-302, 1980.
- [6] McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. *The relationship of drought frequency and duration to time scales*, In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 1993.
- [7] Hınıs, M. Bütünleşik kuraklık indeksi ile Aksarayda hidrometeorolojik kuraklık analizi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(4), 2013.
- [8] Svoboda, M.D., Fuchs, B.A. *Handbook of drought indicators and indices*. (Vol. 2), World Meteorological Organization Geneva, Switzerland, 2016.
- [9] Şener, E., Davraz, A. Yağış tabanlı farklı indisler kullanılarak meteorolojik kuraklık analizi: Isparta örneği, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(Ek (Suppl.) 1), 404-418, 2021.
- [10] Şener, E., Şener, Ş. Meteorolojik Kuraklığın Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Zamansal Ve Konumsal Analizi: Çorak Gölü Havzası (Burdur-Türkiye) Örneği, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(3), 596-607, 2019.
- [11] Keskiner, A. D., Çetin, M., Uçan, M., Şimşek, M. Coğrafi bilgi sistemleri ortamında standardize yağış indeksi yöntemiyle olasılıklı meteorolojik kuraklık analizi: Seyhan Havzası örneği, *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 31(2), 79-90, 2016.
- [12] URL-1. Retrieved 25.11.2024 from <https://www.cografya.gen.tr/egitim/bolgeler/karadeniz.htm>, 2024

- [13] Baykal, T., Taylan, D., Terzi, Ö. Isparta İli için Gelecekteki Olası Meteorolojik Kuraklık Değerlendirmesi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 9(1), 90-100, 2023.
- [14] İnal, C., Turgut, B., Yiğit, C.Ö. *Lokal Alanlarda Jeoit Ondülasyonlarının Belirlenmesinde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması*. Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği öğretiminde 30. Yıl sempozyumu, 16-18 Ekim 2002
- [15] Yaprak, S., Arslan, E. Kriging yöntemi ve geoit yüksekliklerin enterpolasyonu, Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi(98), 36-42, 2008.
- [16] Van Den Boogaart, K. G. Schaeben, H. Kriging of regionalized directions, axes, and orientations I. Directions and axes, Mathematical Geology, 34, 479-503, 2002.
- [17] Yılmaz, M., Kuru, B. Makro ve Mikro Ölçekteki Lokal Jeoid Tespiti için Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Geomatik, 4 (1), 41-48, 2019.

KRİPTO PARA YATIRIMLARINDA YATIRIMCILARIN KARARLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN BULANIK AHP ve BULANIK TOPSİS YÖNTEMLERİYLE ARAŞTIRILMASI

Doç.Dr. Ayten YILMAZ YALÇINER

Sakarya Üniversitesi

ayteny@sakarya.edu.tr - 0000-0001-8160-812X

ÖZET

Yaşanan dijital dönüşüm ve küresel gelişmeler tüm alanlarda etkili olduğu gibi finans alanında da etkisini göstermekte, ödeme sistemleri gibi finansal sistemlerin temel unsurlarında da büyük değişikliklere sebep olmaktadır. Dünya ekonomisini etkileyen bir yenilik olarak görülen kripto paralar, yatırım yapmak isteyen insanların finansal kararlarını vermelerini de büyük oranda etkilemektedir. Kripto paraların ticaretinin yapıldığı kripto borsalarına yoğun ilgi de bunun önemli göstergelerindedir.

Bu çalışmada kripto para borsasında yatırım yapan yatırımcıların alımlarında kararlarını etkileyen faktörler araştırılmıştır. Bu faktörler çalışmada literatür araştırmasıyla desteklenerek belirlenmiştir. Bunlar; işlem gördüğü borsa sayısı, toplam piyasa değeri, işlem hacmi, en yüksek değerden değişim, 1 yıllık getiri, destekleyen kurum ve kuruluşlar, ortalama günlük değişim ve mainnet durumu olmak üzere 9 faktördür. Bu faktörler herhangi 5 kripto para kriteri olarak değerlendirilmiştir. Bulanık AHP yöntemi yardımıyla ikili karşılaştırma yapılmış, bulunan kriter ağırlıkları kullanılarak Bulanık TOPSIS yöntemi ile bu alternatiflerin sıralaması yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kripto Para, Yatırım, ÇKKV, Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS.

1

¹ Bu çalışmada sunulanlar, yatırım tavsiyesi değildir, ÇKKV yöntemleri ile farklı alanlarda olduğu gibi yatırım kararında da destek alınabileceği gösterilmek istenmiştir.

1. GİRİŞ

Teknolojide yaşanan gelişmeler, önemli bir ticari bir araç olan paranın da değişim ve dönüşüm geçirmesine sebep olmaktadır. Yaşanan dijital dönüşüm ve küresel gelişmelerin finans alanında da etkisini göstermesi, ödeme sistemleri gibi finansal sistemlerin temel unsurlarında da büyük değişikliklere sebep olmaktadır. Dünya ekonomisini etkileyen bir yenilik olarak görülen kripto paralar, yatırım yapmak isteyen insanların finansal kararlarını vermelerini büyük oranda etkilemektedir. Kripto paraların ticaretinin yapıldığı kripto borsalarına yoğun ilgi de bunun önemli göstergelerindedir.

Kripto kısaca şifreli para demektir ve kök olarak acyripto ve currency kavramlarından oluşmaktadır. Kripto para türlerinden Ripple, Bitcoin, Litecoin gibi paralar fiziksel olarak gerçek paranın yaptığı işlemi görmektedir. (Turan, 2018). Kripto paralar şifrelenmiş para birimidir. Kripto paralar günümüzde adını fazlasıyla duyurmuş ve herkesin bildiği bir terim haline gelmiştir. Bu kripto paraların üretimi madencilik yoluyla sağlanmaktadır. Bu madencilik fiziksel anlama gelmemekle birlikte iyi bir işlemci ve internet sayesinde bilgisayar üzerinden bu madencilik işlemi yapılabilir. En önemli ve ayırt edici özelliklerinden biri de merkezi yani bir bankası olmayışıdır. Bütün işlemler sanal ortamda yapılmaktadır. Mal ve hizmet alımı aracı olarak kullanılan kripto varlıklar yatırım, değer saklama, değer üretme aracı olarak da sıklıkla kullanılmaktadır (Han vd. 2021). Kripto paraların özellikle ödeme işlemlerinde kolaylık sağlaması, global erişime izin vermesi, işlem ücretlerinin düşük olması ve kullanıcıların kimliklerini koruma özellikleri gibi avantajlar sağlaması son zamanlarda popülerliğinin artmasına sebep olmuştur. Bunun yanında, bir merkezinin olmaması, korsan saldırı riskinin bulunması, denetimde ve kontrolde sıkıntılar yaşanabilmesi, illegal kapsamda (terörizm ve kaçakçılık gibi) finansman aracı olabileceği gibi pek çok eleştirel yönleri de bulunmaktadır (Özgün, 2024)

Kripto paralar, geleneksel finansal sistemlere bir alternatif olarak ortaya 2008 küresel finansal krizi sonrasında ortaya çıkmıştır. Dünya ekonomisini önemli ölçüde etkileyen bir inovasyon olarak kabul edilir. 1980'lerin sonlarında David Chaum'un çalışmaları ile başlayan, 1998'de Nick Szabo'nun çalışmaları ile devam eden ve Bitcoin 2009'da piyasaya sürülmesiyle kripto paralar vücut bulmuştur (Aktaş, 2023). Güvensizlik kapsamında yöneltilen eleştirilere dair Elmas ve Aydın (2021) yaptıkları çalışmada dijital paraların merkez bankaları gibi güvenilir kuruluşlar tarafından basılması durumunda bu sorunun ortadan kaldırılabileceğini ve tedirgin olan kişileri sisteme çekebileceğini belirtmişlerdir.

Kripto paralar için 90'lardan beri çok girişimde bulunulmuştur. 2009 yılının başlarında Satoshi Nakamoto adıyla ortaya çıkan kişi ilk kripto para olan Bitcoin'i geliştirdi (URL1). Bitcoin'in öyküsü, Satoshi Nakamoto takma adı kullanılarak 2009'da yazılan "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" başlıklı makale ile başlamıştır (Çizmeci ve Göver, 2020). Uçkun ve Dal (2021) yaptıkları çalışmada kripto para yatırımcılarının risk toleransını ölçen bir anket uygulamışlardır. Narayanan ve arkadaşları (2016), anonim niteliğinden dolayı kötü niyetli kullanıcılar tarafından yasadışı ürünler/hizmetlerin takibi gerçekleştirilmeden ticaretini yapabilmeye izin vermesi ile de vergi kaçakçılığını önleyiciler için büyük endişe kaynağı olduğunu belirtmişlerdir. Aktaş'ın da belirttiği gibi, işlemlerin cüzdan adresleriyle tanımlanmasını sağladığından kullanıcı kimliklerinin gizli kalmasını sağlamıştır. Bu durum ülkeler tarafından endişe yaratan sorunlardan biri hâline gelmiştir (Aktaş, 2013) Çünkü kripto paralar, illegal faaliyetlerin kullanımına açık olabileceği gibi karanlık web siteleri, kripto paraları anonim olarak kullanarak yasa dışı mal ve hizmetlerin ticaretini de yapabildi.

Kripto platformları, Kripto paraların ticaretinin yapıldığı ve dijital varlıkların alım satımının gerçekleştirildiği platformlardır. Bu platformlar, kullanıcıların çeşitli kripto paraları satın alabilmelerine, satmalarına, takas etmelerine ve saklamalarına imkân tanıyan kripto ekosisteminin önemli bir parçasıdır. Kripto borsaları olarak da adlandırılırlar. Kripto borsaları farklı türlerde olabilir. Çevrim içi borsalar, web tabanlı borsalardır ve kullanıcılara internet üzerinden erişim sağlarlar. Kripto borsalarında birçok farklı işlem çifti (BTC/USD, ETH/BTC, ADA/EUR) bulunur. İşlem çiftleri, bir kripto paranın diğer bir kripto para veya başka bir para cinsi ile takas edilmesini ifade eder. Kripto paraların günümüzde en yaygın kullanımı bitcoindir. Bitcoin de diğer para birimleri gibi kur sistemine sahiptir. Bitcoinin diğer paralardan farkları, sigortalanmayan para olmasıdır. Bundan dolayı merkezi bir otoriteye bağlı değildir. Tamamen dijital bir para olan bitcoin, sınırlı bir kullanım alanına sahiptir (Turan 2018).

Önceki zamanlarda nakite çevirimiinde zorlansa da şu an dünyanın birçok yerinde Bitcoin ile ödeme kabul edilmektedir. Bunun dışında nakite dönüştürme işlemi de kolaylaştırılmıştır. Türkiye’de var olan birtakım uygulamalar ile bir hesap açıp yatırımcılar işlemlerine başlayabilmektedir. Bazı yatırımcıların istediği zaman nakite çeviremeyeceği tedirginliği ile riskli bulduğu için yatırımı bu alanda düşünmediği gibi, bazı yatırımcılar da getirisinin yüksek olması sebebiyle her türlü riske rağmen kripto para ile yatırım yapmayı cazip bulmaktadır. Bu çalışmada kripto para yatırımcılarının yatırım yaparken dikkat edebileceği faktörleri belirlemek ve sıralamak amaçlanmıştır.

2. YÖNTEM

Kripto para borsasında yatırım yapan yatırımcıların alımlarında kararlarını etkileyen faktörler araştırılan çalışmada bu faktörler literatür araştırmasıyla desteklenerek belirlenmiştir. Bunlar; işlem gördüğü borsa sayısı, toplam piyasa değeri, işlem hacmi, en yüksek değerden değişim, 1 yıllık getiri, destekleyen kurum ve kuruluşlar, ortalama günlük değişim ve mainnet durumu olmak üzere 8 faktördür. Bu faktörler çok kriterli karar verme problemi altında alternatif olarak ele alınmıştır. Belirsiz 5 coin kriter olarak belirlenmiş ve bu kriterler üzerinde değerlendirme yapılmıştır. Yöntem olarak Bulanık AHP ve Bulanık TOPSİS yöntemleri kullanılarak yatırımcıların seçimlerinde kolaylık sağlamak hedeflenmiştir. Bu çalışmada belirlenen 8 alternatif ve 5 kriter Bulanık AHP yardımıyla ikili karşılaştırmalar yapılmıştır ve alternatiflerin ağırlıklarına ulaşılma amaçlanmıştır. Bulunan kriter ağırlıkları kullanılarak Bulanık TOPSİS yöntemi ile bu alternatiflerin sıralaması yapılmıştır.

2.1.Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi

Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri çok sayıda kritere göre alternatiflerin avantaj ve dezavantajlarına göre değerlendiren yöntemlerdir. ÇKKV genellikle karar vermeye destek ve alternatif seçim veya seçimleri belirlemek için kullanılır. ÇKKV hayatın her alanında ve her düzeyde sıklıkla başvuru bir yöntemler bütünüdür.

2.1.1. Bulanık AHP

Bulanık AHP dilsel yargıları çift yönlü karşılaştırma matrisleri şeklinde düzenleyen üçgensel bulanık sayılara dönüştürür. Bulanık AHP asıl olarak Van Laarhoven ve Pedrycz (1983) tarafından tanıtılmıştır. Bu yöntem Chang (1996) tarafından yazılmış “Application of the Extent

Analysis Method on Fuzzy AHP” isimli makaleye uzanır. AHP ile bulanık sayıları karşılaştırmak için geliştirilmiştir. Kolay ve kullanışlı bir yöntemdir. AHP de karar vericiler karar elemanlarının önem derecelerini belirlerken gerçek sayılardan oluşan ölçek kullanılır. Bu ölçek basittir lakin insandaki belirsiz düşünceleri ele almamaktadır. Bu sebeple “iyi”, “daha iyi” gibi dilsel karşılaştırmalar daha verimli olduğu anlaşılmıştır. Bu sebeple AHP uygulamalarında dilsel değişkenler ve bunlara atanan bulanık sayılar daha tercih edilir duruma gelmiştir.

Çizelge1. Bulanık AHP değerlendirme

	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit Önem	1,1,1	1,1,1
	1,2,3	1/3, 1/2, 1
Biraz Daha Fazla Önemli	2,3,4	1/4, 1/3, 1/2
	3,4,5	1/5, 1/4, 1/3
Kuvvetli Derecede Önemli	4,5,6	1/6, 1/5, 1/4
	5,6,7	1/7, 1/6, 1/5
Çok Kuvvetli Derecede Önemli	6,7,8	1/8, 1/7, 1/6
	7,8,9	1/9, 1/8, 1/7
Tamamıyla Önemli	8,9,9	1/9, 1/9, 1/8

2.1.2. BULANIK TOPSİS

Çok kriterli karar verme tekniklerinden birisi olan TOPSİS, ideal çözüme göre sıralama yöntemi olarak da bilinmektedir.. Bulanık TOPSİS dilsel olarak yapılmış değerlendirmeleri bulanık sayılara dönüştürerek çözüme ulaşma tekniğidir. Bu yöntemin amacı pozitif ideal çözüme en yakını ve negatif ideal çözüme en uzak çözümü bulmaktır. Yöntem sırasında karar vericiler bulunmaktadır. Bu karar vericiler kriterler ve alternatiflerle ilgili değerlendirme yapmaktadır. Bu değerlendirmeler bulanık sayılara dönüştürülür. Ardından alternatifler için yakınlık katsayısı hesaplanır. Bu yakınlık katsayılarıyla alternatifler sıralanarak çözüme ulaşılır.

Çizelge 2. Bulanık TOPSİS değerlendirme Çizelgesi

Sözel Değişken	Üçgen Bulanık Sayı
Çok Kötü (ÇK)	(0,0,1)
Kötü (K)	(0,1,3)
Biraz Kötü (BK)	(1,3,5)
Orta (O)	(3,5,7)
Biraz İyi (Bİ)	(5,7,9)
İyi (İ)	(7,9,10)
Çok İyi (Çİ)	(9,10,10)

3. UYGULAMA

Bu çalışmada başarılı bir yatırım için dikkat edilen 8 faktöre göre araştırma yapılmıştır. Bunlar belirsiz 5 coin kriter alınarak değerlendirilmiştir. Bu coinler, isim verilmeden A B C D E coin

olarak ifade edilecektir. Öncelikle kriterler kendi arasında ikili karşılaştırma yapılmıştır ve Çizelge1'e göre bulanık sayı karşılıklarıyla matris oluşturulmuştur (Çizelge3.).

Çizelge3. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

	A	B	C	D	E
A	1,00 1,00 1,00	0,33 0,50 1,00	3,00 4,00 5,00	0,33 0,50 1,00	1,00 2,00 3,00
B	1,00 2,00 3,00	1,00 1,00 1,00	2,00 3,00 4,00	0,33 0,50 1,00	2,00 3,00 4,00
C	0,20 0,25 0,33	0,25 0,33 0,50	1,00 1,00 1,00	0,25 0,33 0,50	2,00 3,00 4,00
D	1,00 2,00 3,00	1,00 2,00 3,00	2,00 3,00 4,00	1,00 1,00 1,00	3,00 4,00 5,00
E	0,33 0,50 1,00	0,25 0,33 0,50	0,25 0,33 0,50	0,20 0,25 0,33	1,00 1,00 1,00

Ardından bulanık sentez değerleri hesaplanır. Burada A: M1, B:M2, C:M3, D:M4, E:M5 olarak ikili karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çizelge4. Bulanık sentez değerleri hesabı

A	5,67 8,00 11,00	*	0,02013 0,02715 0,03886	=	0,11409 0,21719 0,4274611
B	6,33 9,50 13,00		0,02013 0,02715 0,03886		0,12752 0,25792 0,5051813
C	3,70 4,92 6,33		0,02013 0,02715 0,03886		0,0745 0,13348 0,246114
D	8,00 12,00 16,00		0,02013 0,02715 0,03886		0,16107 0,32579 0,6217617
E	2,03 2,42 3,33		0,02013 0,02715 0,03886		0,04094 0,06561 0,1295337

Ağırlık vektörü $W = (0,7104, 0,8235, 0,3066, 1, 0)$ olarak bulunur. Normalize edilmiş ağırlık vektörü $(0,25, 0,2899, 0,1079, 0,352, 0)$ olarak elde edilir.

Herbir kriter için yukarıdaki işlemler uygulanır.

Alternatiflerin normalize ağırlık vektörüyle kriter ağırlıkları çarpılarak alternatif ağırlıklarına ulaşılır.

Çizelge 5. Kriter ağırlıkları ile normalize vektörler çarpımı

A	B	C	D	E
0,087	0,112	0,1213	0	0,0134
0,2713	0	0,1998	0,403	0,1383
0,2472	0,006	0,2661	0,1213	0,33
0	0,2941	0,0196	0	0
0,3438	0	0,1985	0,297	0,3088
0	0,1235	0	0	0
0,0505	0,2186	0	0,1785	0,2093
0	0,2453	0,1943	0	0
*				
0,25	0,2899	0,1079	0,352	0

Çizelge 6. Bulanık AHP Alternatif ağırlıkları

İşlem gördüğü borsa sayısı	0,067307
Toplam piyasa değeri	0,231239
İşlem hacmi	0,134949
En yüksek değerden değişim	0,087374
1 yıllık getiri	0,211912
Destekleyen kurum ve kuruluşlar	0,035803
Ortalama günlük değişim	0,138829
Mainnet durumu	0,092077

Bulanık TOPSİS çözümü için;
Kriterler her alternatif için Çizelge 1. e göre matris oluşturulmuştur.
Karar vericilerin ortalaması alınarak hazırlanmıştır.

Çizelge 7. Bulanık Karar matrisi

	İGBS	TPD	İH	EYDD	YG	DKK	OGD	MD
A	5,00 7,00 9,00	8,00 9,00 10,00	7,00 9,00 10,00	3,00 5,00 7,00	9,00 10,00 10,00	1,00 3,00 4,00	3,00 5,00 7,00	1,00 3,00 5,00
B	3,00 5,00 7,00	1,00 3,00 5,00	2,00 3,00 5,00	9,00 10,00 10,00	2,00 3,00 5,00	3,00 5,00 7,00	8,00 9,00 10,00	7,00 9,00 10,00
C	5,00 7,00 9,00	7,00 9,00 10,00	9,00 10,00 10,00	3,00 5,00 7,00	7,00 9,00 10,00	0,00 1,00 3,00	1,00 3,00 5,00	6,00 8,00 9,00
D	3,00 5,00 7,00	9,00 10,00 10,00	5,00 7,00 9,00	1,00 3,00 5,00	7,00 9,00 10,00	1,00 3,00 5,00	5,00 7,00 9,00	0,00 1,00 3,00
E	1,00 3,00 5,00	1,00 3,00 5,00	9,00 10,00 10,00	1,00 3,00 5,00	7,00 9,00 10,00	1,00 3,00 5,00	5,00 7,00 9,00	0,00 1,00 3,00

- Bulanık Karar matrisi normalize bulanık karar matrisine dönüştürülür.
- Normalize edilmiş bulanık karar matrisi Bulanık AHP ile bulunan kriterlerin ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi elde edilir.
- Bulanık ideal pozitif çözüm ve bulanık negatif ideal çözüm bulunur.
- Ardından alternatiflerin ideal çözüme uzaklıkları hesaplanır.
- Yakınlık katsayıları hesaplanır ve sıralama yapılır.

Çizelge 8:Katsayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
di'	0,53766 1	0,70528 5	0,62250 7	0,53099 5	0,69049 2	0,31237 9	0,62539 1	0,43301 8
di*	1,03203 1,56969	0,28127 0,98655	0,36847 0,99098	0,45811 0,98911	0,29525 0,98574	0,68617 0,99854	0,36708 0,99247	0,56934 1,00236
di'+di*	1 6	6 4	4 1	1 6	6 9	9 5	5 4	4 7
Cci	0,34252 7	0,71489 7	0,62817 1	0,53684 1	0,70047 7	0,31283 3	0,63013 3	0,43199 7

Çizelge 9. Bulanık TOPSIS ile Alternatifler sıralama Çizelgesi

Alternatifler	CCi	Sıralama
A1	0,3425	7
A2	0,7149	1
A3	0,6282	4
A4	0,5368	5
A5	0,7005	2
A6	0,3128	8
A7	0,6301	3
A8	0,432	6

Çizelge 10: Ağırlıklar

İşlem gördüğü borsa sayısı	0,067307
Toplam piyasa değeri	0,231239
İşlem hacmi	0,134949
En yüksek değerden değişim	0,087374
1 yıllık getiri	0,211912
Destekleyen kurum ve kuruluşlar	0,035803
Ortalama günlük değişim	0,138829
Mainnet durumu	0,092077

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Kripto paralar, son yıllarda finansal dünyada büyük bir etki oluşturmuştur. Geleneksel finansal sisteme alternatif yeni bir varlık sınıfı ortaya çıkmıştır. Dünya genelinde birçok insan, geleneksel bankacılık sistemlerine erişimde sınır yaşarken, kripto paralar ile birlikte internet bağlantısı olan herkesin finansal hizmetlere erişimi kolaylaşmıştır. Bu çalışmada günümüzde popüler hale gelen kripto para yatırımı ve bu yatırımda yatırımcıların karar verirken hangi faktörleri dikkate aldığı incelenmiştir. Yapılan çalışmada “işlem gördüğü borsa sayısı, toplam piyasa değeri, işlem hacmi, en yüksek değerden değişim, 1 yıllık getiri, destekleyen kurum ve kuruluşlar, ortalama günlük değişim ve mainnet” durumu olmak üzere 8 alternatif ele alınmıştır. Bu alternatifler Bulanık AHP ile ikili karşılaştırma yapılmış kriter ve alternatif ağırlık matrisi elde edilerek çözüme ulaşılmıştır. Ayrıca Bulanık AHP de elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak Bulanık TOPSIS de alternatif değerlendirilmesi yapılmış, yakınlık katsayıları hesaplanarak sonuca ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre her iki yöntemde de dikkat

edilmesi gereken en önemli faktör toplam piyasa değeri olmuştur. Ardından iki yöntemde de 1 yıllık getiri toplam piyasa değerine yakın sonuç vermiştir.

Sonuç olarak Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS çözümlerine bakıldığında da iki yöntemde de benzer sonuçlar çıkmıştır. Çalışmaya göre yatırımcıların yatırım yaparken dikkat ettiği en önemli faktör toplam piyasa değeri olarak belirlenmiştir. 1 yıllık toplam getiri de ona yakın sonuç vermiştir. Çizelgelere bakıldığında en düşük çıkan sonucun destekleyen kurum ve kuruluşlar olduğu görülmektedir.

KAYNAKÇA

Aktaş, M. F. (2023) Dijital Dönüşümün Paradoksu: Kripto Paraların Küresel Etkisi, Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi, Aralık 2023. https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/makale/kripto_0.pdf (Erişim tarihi: 27.012.2024)

Chang, D.Y. (1996). Application of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP, European Journal of Operational Research, 95(3), 649-655.

Çizmeçi, B., Göver, İ. H. (2020). Toplumlarda Fiziksel Paradan Dijital Paraya Geçiş: Bitcoin Örneği. Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi, 21(2), 310-333. <https://doi.org/10.37880/cumuiibf.672433>

Elmas, B., Aydın, S. (2021). “Geçmişten Günümüze Paranın Tarihi: Fiziki Paradan Kripto Paraya”, *Muhasebe ve Finans Tarihi Araştırmaları Dergisi*, 2021 Special Issue, 253-264. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/muftad/issue/67792/1011433>

Han, A. Arıkan, İ., Konat, N. (2021). “Türkiye’de ve Dünyada Sorunlu Kripto Para Ticareti Üzerine Bir Değerlendirme”, *Uluslararası Ticaret ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 5(2), s:83-89.

Narayanan, A., Bonneau, J., Felten, E., Miller, A., Goldfeder, S. (2016), “Bitcoin and Cryptocurrency Technologies: A Comprehensive Introduction”, Princeton University Press, Princeton.

Özgün, H.S. (2024). Kripto Para Kavramına Farklı Bakışlar ve İncelemeler. Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt: 6, Sayı:1, ss. 1-19.

Turan, Z. (2018). Kripto Paralar, Bitcoin, Blockchain, Petro Gold, Dijital Para ve Kullanım Alanları. Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11(3), 1-5. <https://doi.org/10.25287/ohuiibf.431283>

Uçkun, N. ve Dal, L. (2021). “Kripto Para Yatırımcılarında Finansal Risk Toleransı”, *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (89), 155-170. DOI: 10.25095/mufad.852118

Van Laarhoven, P. J. M., Pedrycz, W. (1983). A Fuzzy Extension of Saaty’s Priority Theory, *Fuzzy Sets and Systems*, 11, 229-241.

URL1: https://tr.wikipedia.org/wiki/Kripto_para#cite_note-7 (Erişim Tarihi: 28.12.2024)

SAĞLIK KURUMLARINDA TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ VE HEMŞİRELERİN KALİTE ALGI DÜZEYİ: KIRŞEHİR EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİNDE BİR UYGULAMA

Yüksek Lisans Öğrencisi Şerife AYVA

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi,
serife_bolat46@hotmail.com - 0009-0005-8906-9139

Dr.Öğr.Üyesi Abdullah MISIRLIOĞLU

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi,
misirlioglu@cumhuriyet.edu.tr - 0000-0001-8520-7403

ÖZET

Bu tez, sağlık kurumlarında Toplam Kalite Yönetimi (TKY) uygulamalarının hemşireler üzerindeki etkilerini ve hemşirelerin kalite algı düzeylerini incelemeyi amaçlamaktadır. TKY, sağlık hizmetlerinin etkinliğini artırmak, hasta güvenliği ve memnuniyetini sağlamak için önemli bir yaklaşımdır. Sağlık kurumlarında kaliteyi sürdürülebilir kılmak, çalışanların kaliteye bakış açıları ve katkıları ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, hemşirelerin TKY sürecine katılımı ve kalite algı düzeyleri, kurumun genel performansını belirleyen faktörler arasında yer almaktadır.

Araştırma kapsamında, Kırşehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde 2024 yılı Temmuz ayında görev yapan 205 hemşire üzerinde anket çalışmaları yapılmıştır. Anketler, personelin TKY'ye dair bilgi düzeylerini, kalite algılarını ve bu algıların mesleki tatmin ile ilişkisini ortaya koymayı hedeflemiştir. Ayrıca, hemşirelerin TKY'nin hasta bakım kalitesi üzerindeki etkisine dair değerlendirmeleri de incelenmiştir.

Elde edilen bulgular, hemşirelerin ve diğer sağlık personelinin TKY'yi algılama düzeylerinin, sağlık kurumlarındaki kalite süreçlerinin başarılı bir şekilde uygulanmasında kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Katılımcıların önemli bir kısmı, TKY'nin hasta bakım kalitesini artırdığına inanmakta ve bu doğrultuda eğitimin ve farkındalık çalışmalarının önemine vurgu yapmaktadır. Sonuçlar, TKY süreçlerinin iyileştirilmesi ve hemşirelerin bu süreçlere aktif katılımının desteklenmesi gerektiğini belirtmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kalite, Toplam Kalite Yönetimi, Sağlık Kurumları

1. GİRİŞ

Küreselleşen dünya, teknolojik gelişmeler ve sağlık hizmetlerine olan talebin sürekli artması, sağlık sektöründe kalite yönetiminin önemini her geçen gün daha da artırmaktadır. Sağlık kurumları, sınırlı kaynaklarla yüksek kaliteli, güvenli ve etkin sağlık hizmetleri sunmak zorundadır. Bu noktada, Toplam Kalite Yönetimi (TKY), sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmak, hasta güvenliğini sağlamak ve çalışanların memnuniyetini yükseltmek amacıyla uygulanan bütüncül bir yönetim felsefesi olarak öne çıkmaktadır.

TKY, ilk olarak üretim sektöründe gelişmiş ve başarılı sonuçlar elde etmiştir. Ancak sağlık gibi insan odaklı hizmet sektörlerinde de TKY'nin uygulanması, hizmet kalitesini iyileştirmek, hasta memnuniyetini artırmak ve süreçlerin verimliliğini sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır. TKY'nin temel ilkeleri arasında müşteri odaklılık, sürekli iyileştirme, çalışan katılımı, verilere dayalı karar verme ve liderlik yer almaktadır (Dağdelen, 2017). Sağlık sektöründe müşteri kavramı, yalnızca hastaları değil, aynı zamanda çalışanları ve diğer paydaşları da kapsamaktadır. Bu bağlamda, çalışanların özellikle hemşirelerin süreçlere katılımı ve kalite yönetimine yönelik algıları, sağlık hizmetlerinin başarılı bir şekilde sunulmasında kilit bir faktördür.

Hemşireler, sağlık hizmetlerinin ön safında yer alan ve hasta bakımı ile doğrudan ilişkili olan en önemli profesyonel gruplardan biridir. Bu nedenle, hemşirelerin TKY süreçlerine aktif katılımı ve kalite yönetimine yönelik algı düzeyleri, sağlık kurumlarının genel performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Hemşirelerin TKY'yi ne ölçüde benimsedikleri, hasta bakım kalitesi, iş tatmini ve sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir.

Bu çalışma, Kırşehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde çalışan hemşireler üzerinde yapılan anket sonuçlarına dayalı olarak, TKY uygulamalarının hemşirelerin kalite algıları üzerindeki etkisini incelemektedir. Çalışmada, hemşirelerin TKY'ye yönelik bilgi düzeyleri, kalite algıları ve bu algıların iş tatmini ve mesleki motivasyonları üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir. Aynı zamanda, TKY'nin hasta bakım kalitesine olan yansımaları da ele alınmaktadır. Anket çalışması, 2024 yılı Temmuz ayında 205 hemşirenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir ve elde edilen bulgular, sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmaya yönelik veriler sunmaktadır.

Bu tezin temel amacı, hemşirelerin TKY sürecine katılım düzeylerini belirlemek ve TKY'nin, hemşirelerin mesleki performansı, hasta memnuniyeti ve kurum içi süreçler üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Ayrıca, TKY'nin sağlık kurumlarında başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için hemşirelerin kalite yönetimine daha etkin katılım sağlamalarını teşvik edecek öneriler sunulmaktadır. Çalışmanın sonunda elde edilen bulgular doğrultusunda, TKY'nin sağlık hizmetleri kalitesini nasıl etkilediği ve bu süreçlerin iyileştirilmesi adına yapılması gerekenler üzerine çeşitli öneriler geliştirilmektedir.

Sonuç olarak, TKY'nin sağlık kurumlarında etkin bir şekilde uygulanmasının, yalnızca hasta memnuniyeti ve hizmet kalitesine değil, aynı zamanda hemşirelerin mesleki tatminine ve motivasyonuna da olumlu katkılar sunduğu öngörülmektedir. Bu doğrultuda, hemşirelerin kalite algı düzeylerinin yükseltilmesi ve TKY süreçlerine aktif katılımlarının sağlanması, sağlık hizmetlerinin sürdürülebilir kalitesinin temini açısından kritik bir faktör olarak değerlendirilmektedir.

2. SAĞLIK HİZMETLERİNDE TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ

1950'li yıllarda üretim sektöründe başlayan kalite anlayışı, günümüzde pek çok farklı alanda önemli bir yer edinmiştir. Son yıllarda sağlık sektörü de bu konuda büyük adımlar atmış ve birçok sağlık kuruluşu, toplam kalite yönetimi ilkelerini uygulamak için "Kalite Birimi" kurmuştur. TKY'nin temel prensiplerinden biri müşteri odaklılıktır ve bu özellik, onu diğer yönetim yaklaşımlarından farklı kılar. TKY'de müşteri, iki ana gruptan oluşur: iç müşteri (çalışanlar) ve dış müşteri (sağlık hizmeti alan kişiler). Sağlık hizmetlerinde iç müşteri,

hekimler, hemşireler ve diğer sağlık personelinin; dış müşteri ise hastalar ve onların yakınlarını ifade eder. (Oksay, 2016:190) .

Sağlık hizmetlerinde toplam kalite yönetimi, hasta memnuniyeti ve bakım kalitesini sürekli iyileştirmeyi hedefleyen, sağlık organizasyonlarının tüm seviyelerinde uygulanan bir yönetim felsefesidir. TKY'nin sağlık hizmetlerindeki temel amaçları arasında hasta güvenliğini sağlamak, hataları ve israfı minimize etmek, kaynakların verimli kullanılmasını sağlamak ve çalışanların iş süreçlerine katılımını artırmak yer alabilir.

Toplam kalite yönetimi anlayışıyla çalışan hastaneler, müşteri hizmetlerine daha çok önem vermeye başlamışlardır. Eskiden yalnızca hastalar sağlık hizmetlerinin müşterisi olarak kabul ediliyordu fakat artık sağlık hizmetleriyle etkileşimde bulunan herkes müşteri olarak değerlendirilmektedir. Sağlık hizmetlerinde TKY uygulamalarının önemli bir unsuru, örgütün kendi eksikliklerini fark etmesi ve bu eksiklikleri tanımlayarak hizmet kalitesini artırmak için müşterilerinden geri bildirim alarak planlama ve iyileştirme çalışmalarına yönelmesidir (Ed. Peker ve ark. 1999:134-135).

3. METODOLOJİ

2.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, sağlık kurumlarında Toplam Kalite Yönetimi (TKY) ilkelerinin hemşirelerin kalite algı düzeyi üzerindeki etkilerini incelemektir. Kırşehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde gerçekleştirilen bu uygulamada, liderlik, müşteri odaklılık, sürekli iyileşme, takım çalışması, tedarikçi kalitesinin yönetimi, eğitim, ürün tasarımı ve süreç yönetimi gibi TKY ilkelerinin hemşirelerin algıladığı kalite düzeyine katkıları detaylı olarak değerlendirilmiştir. Araştırma, bu ilkelerin hemşireler üzerindeki etkilerini ortaya koymayı ve sağlık hizmetlerinin kalitesini artırmada hemşirelerin rolünü daha iyi anlamayı hedeflemektedir.

2.2. Araştırmanın Verileri ve Ölçek

Araştırmanın verileri, Kırşehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde çalışan hemşireler arasından toplanmıştır. Araştırmanın evrenini, hastanenin merkez yerleşkesinde aktif olarak görev yapan toplam 396 hemşire oluşturmaktadır. Örneklem, bilinen evren örneklem hesaplama formülü kullanılarak belirlenmiş olup, %5 hata payı ve %95 güven aralığı dikkate alınarak 196 hemşire olarak hesaplanmıştır. Evrenin tamamına ulaşma hedefiyle yapılan çalışmada, araştırmaya katılma kriterlerini karşılayan ve katılım konusunda gönüllü olan 205 hemşire araştırmanın örnekleme olarak belirlenmiştir. Araştırmaya dahil olma kriterleri, hemşirelik bölümü mezunu olmak ve araştırmaya gönüllü olarak katılmaktır.

Araştırma kesitsel ve tanımlayıcı niteliktedir. Veriler anket yöntemi kullanılarak toplanmıştır. Kullanılan anket formunda yer alan bilgiler aşağıdaki gibidir:

1. Kişisel Bilgi Formu: Bu form, araştırmacıların literatür taraması sonucu oluşturulmuş olup içerisinde, hemşirelerin; yaş, cinsiyet, eğitim düzeyi, medeni durum gibi bazı sosyo-demografik bilgileri ve meslek, çalıştığı birim, çalışma süresi gibi işe ilişkin faktörler olarak toplam 8 soru bulunmaktadır (Özfidancı, 2019).

2. Toplam Kalite Yönetimi Algısı Anket Formu: Bu form ise hemşirelerin toplam kalite yönetimine ilişkin algı düzeylerini ölçmeyi sağlayan ve 51 sorudan oluşan bir anket formudur.

Anket 9 bölümden oluşmaktadır. Bunlar; Müşteri odaklılık, Liderlik, Sürekli İyileşme, Takım çalışması, Tedarikçi kalitesinin yönetimi, Eğitim, Ürün tasarımı, Süreçlerin yönetimi şeklindedir. Anket Formu, Ustasüleyman (2011) tarafından geliştirilmiş ve yayınlanmıştır. Özfidancı (2019) tarafından sağlığa uyarlanmıştır.

Anket çalışmaları sonucunda, 205 katılımcıdan geri dönüş alınmış ve bu veriler analiz için kullanılmıştır. Bu katılımcılardan elde edilen veriler, araştırmanın temelini oluşturarak, sağlık kurumlarında TKY ilkelerinin hemşirelerin kalite algı düzeyi üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla incelenmiştir.

Araştırmanın gerçekleştirilmesi için, Kırşehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi Başhekimliği ve Kırşehir İl Sağlık Müdürlüğü'nden gerekli izinler alınmış, ayrıca Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan etik kurul onayı (Ek-1) temin edilmiştir. Araştırmanın evrenini oluşturan 396 hemşireye, araştırmacılar tarafından yazılı ve sözlü bilgilendirme yapılmıştır. Araştırmaya katılımın tamamen gönüllülük esasına dayandığı vurgulanmış ve bu doğrultuda 191 hemşire araştırmaya katılmayı reddetmiştir. Araştırma kriterlerini karşılayan hemşirelere veri toplama formları araştırmacı tarafından yüz yüze iletilmiştir. Toplam 58 sorudan oluşan anket formunun cevaplanması, ortalama 10-15 dakika sürmüştür.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, sağlık kurumlarında TKY ilkelerinin hemşirelerin kalite algı düzeyi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kırşehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde gerçekleştirilen bu uygulamada, liderlik, müşteri odaklılık, sürekli iyileşme, takım çalışması, tedarikçi kalitesinin yönetimi, eğitim, ürün tasarımı ve süreç yönetimi gibi TKY ilkelerinin hemşirelerin algıladığı kalite düzeyine katkıları detaylı olarak değerlendirilmiştir.

Bulgulara göre, hastane çalışanlarının TKY algısı ile demografik faktörler (cinsiyet, medeni durum, yaş, eğitim durumu, çalışma süresi) arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Ancak, kalite eğitimi alma durumu, TKY algısını etkileyen önemli bir faktördür ve bu algıyı artırabileceği düşünülmektedir.

Müşteri odaklılık faaliyetlerinin hemşirelerin performansını olumlu şekilde etkilediği, üst yönetimin liderlik faaliyetlerinin hemşirelerin kalite algısını artırdığı, sürekli iyileştirme faaliyetlerinin kalite algısını geliştirdiği ve takım çalışması faaliyetlerinin iş tatminini artırdığı görülmüştür. Ayrıca, tedarikçi kalitesi yönetimi faaliyetlerinin hastane hizmet kalitesini ve hemşirelere yönelik eğitim faaliyetlerinin hemşirelerin kalite algısını artırdığı tespit edilmiştir. Hizmet süreçlerinin yönetimi de hemşirelerin iş verimliliğini olumlu yönde etkilemektedir.

Araştırma sonucuna göre hemşirelerin kalite algısını güçlendirmek amacıyla verilen düzenli TKY eğitimlerinde özellikle liderlik, çalışan katılımı ve sürekli iyileştirme gibi kritik unsurlara odaklanılmalıdır. Hastane yönetiminin, hemşirelerin karar süreçlerine daha aktif katılımını sağlayacak mekanizmalar oluşturması ve çalışanları destekleyen liderlik yaklaşımları geliştirmesi önem arz etmektedir. Ayrıca, sürekli iyileştirme kültürünün kurumsal olarak benimsenmesi için ekip çalışmaları teşvik edilmeli ve geri bildirim mekanizmaları daha etkin hale getirilmelidir.

KAYNAKÇA

1. Dağdelen, O., *Toplam Kalite Yönetimi*, Gazi Kitabevi, Ankara, 2017.
2. Özfıdancı, S., *Hastane Çalışanlarının Toplam Kalite Yönetimi Uygulamalarına İlişkin Algı Düzeyleri: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Örneği*, Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksel Lisans Tezi, Sivas, 2019.
3. Ustasüleyman, T. (2011), Toplam Kalite Yönetimi Uygulamalarının Firma Performansı Üzerine Etkisi: Türkiye'nin 500 Büyük Firmasına Yönelik Bir Araştırma. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/287339> (Erişim Tarihi: 05.01.2024)
4. Oksay, A. (2016), Sağlık Hizmetlerinde Kalite Tam Olarak Ne Demek?, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt.8 Sayı.14 (s. 181-192) (Erişim Tarihi: 16.09.2024).
5. Ed. Peker, Ö., Savaşkan Durak, N., Gümüşsuyu, Ç. ve Akdoğan, A.A., *Kamu Yönetiminde Kalite I. Ulusal Kongresi II. Cilt*, TODAİE Masa Üstü Yayıncılık, Ankara (1999).

THE IMPACT OF DIGITAL BURNOUT ON EMPATHY ABILITY IN NURSING STUDENTS

Melike TAŞDELEN BAŞ¹, Funda ÖZPULAT²,

¹Selcuk University Aksehir KadirYallagoz Health School, Konya, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2389-7696>
meliketbas@gmail.com, +90 505 705 84 99

²Selcuk University Aksehir KadirYallagoz Health School, Konya, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1789-6216>
fozpulat@selcuk.edu.tr, +90 534 576 76 12

Özet

Dijitalleşmenin hız kazanması, bireylerin teknolojiyle etkileşim biçimlerini değiştirmiş ve bu durum, eğitim ve meslek hayatında derin etkiler yaratmıştır. Bu çalışma, dijital tükenmişliğin hemşirelik öğrencilerinin empati düzeyleri üzerindeki etkilerini incelemektedir. Araştırma, 10-20 Aralık 2024 tarihleri arasında 239 hemşirelik öğrencisi ile gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların yaş ortalaması 20,69±2,64'tür. Araştırmada Toronto Empati Ölçeği ve Dijital Tükenmişlik Ölçeği kullanılmış, öğrencilerin dijital tükenmişlik düzeyleri ile empati becerileri arasındaki ilişki değerlendirilmiştir.

Sonuçlar, dijital tükenmişlik ile empati arasında negatif bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur ($r = -0,158$, $p = 0,015$). Dijital tükenmişlik alt boyutlarından dijital yoksunluk ($r = -0,196$, $p = 0,002$) ve dijital tükenme ($r = -0,137$, $p = 0,034$) düzeylerinin artması, empati puanlarında belirgin bir düşüşe yol açmaktadır. Araştırma ayrıca, uzun süreli internet ve sosyal medya kullanımının dijital tükenmişlik puanlarını artırdığını göstermiştir ($\eta^2 = 0,114$). Bu durum, öğrencilerin hem akademik hem de duygusal becerilerinin zarar görmesine neden olmaktadır.

Çalışmada, dijitalleşmenin yoğun etkileri nedeniyle, öğrencilerin duygusal farkındalığında ve empatik becerilerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Hemşirelik mesleği, empati ve insan odaklı bakım gerektiren bir alan olduğundan, bu durumun mesleki yeterlilikler üzerindeki olumsuz etkileri vurgulanmıştır. Dijital tükenmişlik, yalnızca bireysel performansı değil, aynı zamanda hasta bakım kalitesini de etkileyebilecek bir sorundur.

Bu bulgular ışığında, hemşirelik eğitiminde dijital teknolojilerin dengeli kullanımını sağlamak için stratejiler geliştirilmesi önerilmektedir. Dijital detoks ve farkındalık eğitimleri gibi uygulamalar, dijital tükenmişliği azaltarak empati becerilerinin korunmasına yardımcı olabilir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, dijital tükenmişliğin uzun vadeli etkilerini ve bu sorunu hafifletmeye yönelik müdahalelerin etkinliğini araştırmalıdır.

Anahtar kelimeler: *Dijital Tükenmişlik, Empati, Hemşirelik Eğitimi, Sosyal Medya Kullanımı, Dijital Yoksunluk*

Abstract

The acceleration of digitalization has altered the ways individuals interact with technology, creating profound effects on both education and professional life. This study examines the impact of digital burnout on the empathy levels of nursing students. The research was conducted with 239 nursing students between December 10-20, 2024, with an average age of 20.69 ± 2.64 . The study utilized the Toronto Empathy Scale and the Digital Burnout Scale to evaluate the relationship between students' levels of digital burnout and their empathy skills.

The results revealed a negative correlation between digital burnout and empathy ($r = -0.158$, $p = 0.015$). Increased levels of digital deprivation ($r = -0.196$, $p = 0.002$) and digital exhaustion ($r = -0.137$, $p = 0.034$) were found to lead to a significant decrease in empathy scores. The study also demonstrated that prolonged use of the internet and social media increased digital burnout scores ($\eta^2 = 0.114$). This situation negatively impacts both academic and emotional skills of the students.

The study observed a reduction in students' emotional awareness and empathic skills due to the intense effects of digitalization. Since the nursing profession requires empathy and human-centered care, the negative effects on professional competencies were emphasized. Digital burnout is a problem that can affect not only individual performance but also the quality of patient care.

In light of these findings, it is suggested that strategies be developed to ensure the balanced use of digital technologies in nursing education. Practices such as digital detox and awareness training may help reduce digital burnout and preserve empathy skills. Future studies should investigate the long-term effects of digital burnout and the effectiveness of interventions to mitigate this issue.

Keywords : *Digital Burnout , Empathy , Nursing Education , Social Media Usage , Digital Deprivation*

INTRODUCTION

Digital burnout is an important problem in the healthcare field, as in every field in today's technological world. Especially with the pandemic process, nursing education has also been rapidly transferred to digital platforms, and distance education, digital course materials, and being constantly online have become widespread. This process has increased nursing students' dependence on technology in education and, as a result, has led to an increase in digital burnout cases (El Sayed et al., 2024) . Digital burnout is a process in which individuals experience a loss of mental and physical energy due to technology use and their functionality decreases (Turan et al., 2024). It is known that such burnout symptoms are more common in individuals with intensive education programs, such as nursing students (Durmuş et al., 2022). Studies examining the relationship between digital burnout and emotional skills in the literature reveal that digitalization can weaken individuals' emotional sensitivities and social relationships. It is emphasized that emotional abilities, such as empathy, can weaken as a result of excessive dependence on technology (Lee et al., 2022). In the context of nursing education, students' inability to interact one-on-one with patients and develop empathic communication may cause these skills to be insufficiently developed. This may lead to education provided on digital platforms being limited to information transfer only, and critical nursing skills such as empathy being overshadowed (Özer et al., 2023).

In addition, developing empathy skills during nursing education is of vital importance to achieve effective results in patient care. Understanding the emotional needs of patients and responding to them appropriately is one of the basic roles of nurses. However, recent studies show that nursing students studying on digital platforms exhibit lower empathy levels compared to face-to-face education (Lee et al., 2022; Juan & O'Connell , 2024). In these studies, it has been reported that digital burnout negatively affects students' social relationships and emotional awareness.

In light of all this literature, the negative effects of digital burnout on nursing students need to be examined in more depth. In particular, how a critical skill for the nursing profession, such as empathy , is affected in digitalized education processes can be an important area of research

for both educators and health services. The aim of this study is to examine the effect of digital burnout on empathy in student nurses.

METHOD

The research is descriptive in type. The research was conducted with first, second, third and fourth year students continuing their education in the Nursing Undergraduate program. The data of the research was collected face to face between December 10-20, 2024. The research universe consists of 450 people and the number of students included in the sample is 239. The inclusion criteria included being an undergraduate student continuing the nursing program at the specified school. This research will be conducted taking into account the Helsinki Declaration Principles. After obtaining the approval of the Ethics Committee, the data of the research was applied in the form of a face-to-face survey. A personal information form consisting of 7 questions, the Toronto Empathy Scale, and the Digital Burnout Scale were applied to all participants.

Data Collection Forms

Personal Information form is a form consisting of 7 questions prepared by the researchers.

Toronto Empathy Scale: The Toronto Empathy Scale was developed by Spreng , Kinnon , Mar, and Levine in 2009 to determine the empathy levels of individuals. It is a Likert- type scale developed (Spreng et al., 2009). The Turkish adaptation was made by Totan , Doğan and Sapmaz in 2012 (Totan et al., 2012). The scale is one-dimensional and consists of 13 items and is evaluated as a 5-point Likert (1- not at all appropriate , 5-completely appropriate) . 8 of the items (1, 3, 5, 7, 8, 9, 11, 12) are reverse items. The lowest score obtained from the scale is 13, and the highest score is 65. High scores indicate a higher level of empathy. high It means that the scale is Construct validity during Turkish adaptation for confirmatory factor analysis was performed and the fit index values were As a result of this analysis, the fit index values were found to be at a sufficient level . and the factor structure of the original form is Turkish in the sample (698 university student) was confirmed ($\chi^2= 234.67$, $df = 64$, $\chi^2/ df = 3.67$, $NFI= .91$, $GFI= .94$, $RFI= .90$, $IFI= .94$, $CFI= .94$, $RMSEA= .07$, $RMR= .05$). Cronbach's alpha coefficient of consistency of the scale was calculated as .79 .

Digital Burnout Scale:

Erten and Özdemir (2020) stated that individuals experience digital burnout “Digital Burnout” aims to determine the levels of Scale " is a 3-dimensional, 24-item, 5-point Likert type. Digital burnout The sub-dimensions of the scale are defined as “*Digital Aging* ”, “*Digital Deprivation*” and “*Emotional Exhaustion* ” . The lowest score that can be obtained from the scale is “24” and the highest score is “120” (Erten & Özdemir, 2020).

Statistical analysis

The data were analyzed using the Statistical Package for Social Sciences (IBM SPSS Corp; Armonk, NY, USA, v. 22.0). In the study, digital burnout levels were analyzed in terms of factors such as demographic characteristics, internet and social media usage time. The data were evaluated with methods such as t-test, ANOVA and Pearson correlation analysis for independent samples, and multiple comparisons were made with Bonferroni correction. The statistical significance of the results was supported by calculating effect sizes.

Ethical Approval

This study was reviewed and approved by the Local Ethics Committee at the meeting held on December 3, 2024. The decision of the The committee is documented under the number 2024/600.

RESULTS

The study examined the demographic characteristics, internet and digital device usage habits, and digital burnout levels of the participants. Details are provided in Table 1. The results are summarized below:

- **Participants:** A total of 239 people (72.4% female, 27.6% male) participated in the study.
- **Age Distribution:** The ages of the participants ranged from 17 to 42, and the mean age was 20.69 ± 2.64 .
- **Class Distribution:** 22.6% of the participants were in the first year, 30.5% were in the second year, 23.1% were in the third year, and 23.8% were in the fourth year.
- **Reason for Receiving Nursing Education:** 64.9% of the participants chose the education by their own will, 25.5% by family request, and 9.6% for other reasons.

Table 1. Socio-demographic Characteristics of the Participants

Class	n(%)
1.00	54(22.6)
2.00	73(30.5)
3.00	55(23.1)
4.00	57(23.8)
Age (Min: 17 , Max : 42 ; Arit . Mean : 20.69±2.64)	
17 years old	7(2.9)
18 years old	23(9.6)
19 years old	31(13.0)
20 years old	64(26.8)
21 years old	48(20.1)
22 years old	38(15.9)
23 years old	20(8.3)
24 years old	4(1.7)
Ages 27 and over	4(1.7)
Gender	
Woman	173(72.4)
Male	66(27.6)
Reasons for Studying Nursing	
His own will	155(64.9)
Family request	61(25.5)
Other	23(9.6)

Internet usage	
0-2 hours	24(10.0)
3-5 hours	117(49.0)
6-8 hours	78(32.6)
9 hours and above	20(8.4)
Total	239(100)
Purpose of Using Digital Devices	
Social media	218(32.2)
Research	144(21.2)
Education/homework	179(26.4)
Games	130(19.2)
Other	7(1.0)
Total	678(100)
Social media usage time	
1.00	19(8.1)
2.00	50(21.3)
3.00	50(21.3)
4.00	39(16.6)
5.00	35(14.9)
6.00	21(8,9)
7.00	9(3.8)
8.00	8(3,4)
9.00	4(1.7)
Total	235(100.0)
Duration of use for educational purposes	
,00	2(,9)
1.00	124(55.1)
2.00	67(29.8)
3.00	19(8.4)
4.00	8(3.6)
5.00	4(1.8)
6.00	1(,4)

Total	225(100.0)
Other usage period	
,00	3(2,4)
1.00	39(31.5)
2.00	36(29.0)
3.00	25(20.2)
4.00	11(8,9)
5.00	7(5,6)
6.00	2(1.6)
7.00	1(,8)
Total	124(100.0)

Table 2. Scores of the Toronto Empathy Scale and Digital Burnout Scale with Subdimensions

SCALES AND THEIR SUB-DIMENSIONS	Min.- Max	Mean
Digital Depreciation	12-60	34.26±10.59
Digital Deprivation	6-30	15.69±6.22
Digital Exhaustion	6-30	17.32±5.90
Digital Burnout Scale Total	24-118	67.27±19.37
Toronto Empathy Scale Total	19-65	51.61±8.59

Table 3. Comparison of Socio-demographic Results with Toronto Empathy Scale and Digital Burnout Scale Scores

Class	Digital Depreciation	Digital Deprivation	Digital Exhaustion	Digital Burnout Scale Total	Toronto Empathy Scale Total
	M±SD	M±SD	M±SD	M±SD	M±SD
1.00	33.50±9.63	16.13±4.76	16.82±5.04	66.44±16.82	51.74±6.73
2.00	35.56±11.19	16.81±6.80	17.51±6.01	69.88±20.66	50.99±9.09
3.00	34.31±12.11	15.46±7.03	17.18±6.82	66.95±22.47	50.42±9.74
4.00	33.25±9.09	14.09±5.58	17.68±5.68	65.02±16.61	53.42±8.25
	F(3.235)= .632. p=.595. η ² =.008	F(3.235)= 2.199. p=.089. η ² =.027	F(3.235)= .236. p=.871. η ² =.003	F(3.235)= .733. p=.533. η ² =.009	F(3.235)= 1.335. p=.264. η ² =.017
Age					
17-21 years old	34.57±10.70	16.11±6.15	17.21±5.96	67.89±19.62	51.44±8.50

22-26 years old	33.76±10.30	14.73±6.36	17.66±5.93	66.15±18.97	52.18±8.95
Ages 27 and over	28.25±10.72	12.75±6.02	16.75±3.30	57.75±13.96	50.00±8.60
	F(2.236)= .787. p=.456. η^2 =.007	F(2.236)= 1.596. p=.205. η^2 =.013	F(2.236)= .152. p=.859. η^2 =.001	F(2.236)= .675. p=.510. η^2 =.006	F(2.236)= .238. p=.788. η^2 =.002
Gender					
Woman	34.30±10.47	15.99±6.08	17.16±5.97	67.45±19.25	53.23±7.68
Male	34.14±10.99	14.91±6.54	17.74±5.74	66.79±19.81	47.35±9.42
	t = .107. df = 237. p=.915. Cohen's d=.015	t =1.208. df = 237. p=.228. Cohen's d=.175	t = -.686. df = 237. p=.494. Cohen's d=- .099	t = .236. df = 237. p=.814. Cohen's d=.034	t =4.531. df = 99.762. p= <0.001. Cohen's d=.718
Reasons for Studying Nursing					
His own will	33.96±10.09	15.39±5.92	16.87±5.59	66.22±17.82	52.57±8.02
Family request	33.75±10.98	15.93±6.62	17.84±6.01	67.52±20.27	50.39±9.19
Other	37.57±12.58	17.13±7.11	18.96±7.38	73.65±25.78	48.30±9.78
	F(2.236)= 1.254. p=.287. η^2 =.011	F(2.236)= .848. p=.430. η^2 =.007	F(2.236)= 1.573. p=.210. η^2 =.013	F(2.236)= 1.488. p=.228. η^2 =.012	F(2.236)= 3.354. p = .037. η^2 =.028
Internet usage					
0-2 hours	29.21±9.78	14.46±6.29	13.58±5.14	57.25±16.03	50.83±8.19
3-5 hours	32.47±10.41	14.94±6.04	16.68±5.85	64.09±19.53	51.98±8.61
6-8 hours	37.45±9.71	17.04±6.34	18.88±5.33	73.37±17.78	51.85±7.99
9 hours and above	38.30±11.60	16.35±6.072	19.45±6.72	74.10±19.68	49.40±11.19
	F(3.235)= 6.711. p=<0.001. η^2 =.079	F(3.235)= 2.214. p=.087. η^2 =.027	F(3.235)= 6.833. p=<0.001. η^2 =.080	F(3.235)= 7.114. p=<0.001. η^2 =.083	F(3.235)= .596. p=.618. η^2 =.008
Social media usage time					
1.00	30.58±10.54	12.79±5.56	15.37±5.57	58.74±18.79	51.89±9.31
2.00	31.36±11.36	13.94±6.66	14.66±6.11	59.96±20.32	51.94±7.09
3.00	33.44±10.75	15.74±6.17	17.74±5.86	66.92±19.75	53.10±9.11
4.00	36.13±8.77	16.10±4.92	18.36±4.44	70.59±15.46	51.03±7.49
5.00	36.09±10.16	17.29±5.79	17.77±5.59	71.14±18.73	49.34±9.78
6.00	33.86±7.96	15.43±5.62	18.00±5.89	67.29±16.32	53.19±7.04
7.00	43.78±7.33	21.89±2.37	21.89±3.22	87.56±10.09	52.56±7.65
8.00	32.25±12.84	17.75±9.22	19.00±8.12	69.00±20.72	47.88±7.79
9.00	44.50±11.12	17.75±9.74	22.00±5.89	84.25±21.05	44.00±20.02
Total	34.26±10.59	15.69±6.22	17.31±5.90	67.27±19.37	51.61±8.59
	F(8.226)= 2.670. p=.008. η^2 =.086	F(8.226)= 2.775. p=.006. η^2 =.089	F(8.226)= 3.095. p=.002. η^2 =.099	F(8.226)= 3.622. p=.001. η^2 =.114	F(8.226)= 1.215. p=.291. η^2 =.041

Duration of use for educational purposes					
.00	31.50±4.95	21.00±1.41	18.50±2.12	71.00±1.41	51.00±5.66
1.00	35.09±11.05	16.45±6.63	17.71±6.07	69.26±19.85	50.77±9.03
2.00	33.13±10.32	14.54±5.82	17.11±5.68	64.78±19.13	53.02±7.53
3.00	32.74±7.89	15.37±4.00	16.53±4.89	64.63±14.80	51.47±8.40
4.00	34.50±8.52	13.50±4.07	15.50±5.35	63.50±16.69	55.25±4.98
5.00	32.75±7.59	18.75±4.72	15.25±4.79	66.75±10.37	54.00±9.89
6.00	33.00	23.00	17.00	73.00	58.00
Total	34.21±10.38	15.79±6.15	17.31±5.76	67.31±5.67	51.75±8.44
	F(6.218)= .367. p=.899. η^2 =.010	F(6.218)= 1.548. p=.164. η^2 =.041	F(6.218)= .397. p=.881. η^2 =.011	F(6.218)= .559. p=.762. η^2 =.015	F(6.218)= .899. p=.496. η^2 =.024
Other usage period					
.00	34.67±13.32	17.00±4.58	17.67±4.04	69.33±17.01	51.33±8.39
1.00	32.10±10.49	14.74±5.73	16.21±5.34	63.05±17.94	53.54±8.63
2.00	34.39±10.52	15.75±5.99	17.06±5.25	67.19±18.32	50.58±8.09
3.00	35.76±8.38	15.60±5.86	17.88±5.67	69.24±17.68	50.32±7.86
4.00	39.55±7.88	17.36±5.69	20.09±3.81	77.00±14.29	54.00±5.98
5.00	30.71±10.86	18.43±4.65	19.29±5.09	68.43±19.50	50.14±5.18
6.00	23.00±12.73	10.50±6.36	25.50±6.36	59.00±12.73	50.50±7.78
7.00	16.00	26.00	14.00±	56.00	42.00
Total	33.87±10.19	15.73±5.81	17.48±5.34	67.07±17.73	51.69±7.92
	F(7.116)= 1.720. p=.111. η^2 =.094	F(7.116)= 1.217. p=.299. η^2 =.068	F(7.116)= 1.622. p=.136. η^2 =.089	F(7.116)= .959. p=.465. η^2 =.055	F(7.116)= .898. p=.511. η^2 =.051

η^2 :Eta square shows the effect size

Internet use was compared with the Digital exhaustion subscale and the Digital exhaustion scale total score and both were found to have a medium effect size.

Bonferroni correction for Internet use and Digital exhaustion sub-dimension, it was determined that the difference in the digital exhaustion sub-dimension was caused by Internet use between 0-2 hours and 6-8 hours.

The duration of social media use was compared with the digital burnout scale and the total score of the digital burnout scale, and although the effect sizes were found to be at a moderate level, the duration of social media use was The effect size was found to be higher when comparing the total burnout scale score (η^2 = .114).

1. **Internet Usage Duration:** As the duration of Internet usage increased, a significant increase in digital burnout levels was observed. In particular, usage for 6-8 hours and over 9 hours resulted in higher values in the digital burnout sub-dimension ($\eta^2 = 0.08$).
2. **Social Media Usage Duration:** A significant relationship was found between social media usage duration and digital burnout total score ($\eta^2 = 0.114$).
3. **Gender:** No significant difference was found in terms of digital burnout scores between male and female participants ($p > 0.05$).
4. **Reason for Pursuing Nursing Education:** Digital burnout levels did not show a significant difference in terms of the reason for choosing nursing education.
5. **Digital Use for Educational Purposes:** Duration of educational use did not significantly affect digital burnout scores. Details are provided in Tables 2 and 3

Table 4. Correlation Between Digital Burnout Scale and Subdimensions with Toronto Empathy Scale

		Digital_ Depreciation	Digital _deprivation	Digital _exhaustion	Digital Burnout Scale Total	Toronto Empathy Scale TOTAL
Digital _ Depreciation	r	1	,589 **	,598 **	,918 **	-,097
	p		,000	,000	,000	,135
Digital _deprivation	r	,589 **	1	,507 **	,797 **	-,196 **
	p	,000		,000	,000	,002
Digital _exhaustion	r	,598 **	,507 **	1	,794 **	-,137 *
	p	,000	,000		,000	,034
Digital Burnout Scale Total	r	,918 **	,797 **	,794 **	1	-,158 *
	p	,000	,000	,000		,015
Toronto Empathy Scale TOTAL	r	-,097	-,196 **	-,137 *	-,158 *	1
	p	,135	,002	,034	,015	
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).						
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).						

Digital Deprivation and Digital Exhaustion There is a strong and positive relationship with digital deprivation and digital exhaustion levels as digital wear and tear increases. ($r = 0.589$, $p < 0.01$)

There is a negative and significant relationship between empathy and digital deprivation , that is, as digital deprivation increases, the level of empathy decreases. ($r = -0.196$, $p = 0.002$)

Digital Exhaustion ($r = 0.598$, $p < 0.01$) And Digital Deprivation ($r = 0.507$, $p < 0.01$) There is a positive relationship with digital exhaustion, and as digital depletion increases, digital wear and tear and digital deprivation also increase.

There is a negative relationship between empathy and digital exhaustion, that is, as digital exhaustion increases, empathy levels decrease ($r = -0.137$, $p = 0.034$) . Correlation analysis details are given in Table 4.

DISCUSSION

In the digitalized world, the effects of changes in nursing education, especially with the pandemic process, on the emotional and social skills of students are increasingly attracting attention. In this context, the relationship between digital burnout and empathy is directly linked to the human-centered care approach inherent in the nursing profession. While the literature shows that digital burnout negatively affects individuals' empathy levels and social interaction skills, it is emphasized that this situation becomes more evident during the education process of nursing students. In this study, we aimed to deeply examine the effects of digital burnout on empathic communication skills in nursing students and shed light on possible interventions in this area.

In this study, a significant increase in digital burnout levels was found as the duration of internet use increased. In a study conducted by Göldağ (2022), it was observed that digital burnout levels and perceived stress increased as the duration of internet use increased in university students (Göldağ , 2022). In a study conducted in society, it was concluded that continuous and excessive use of digital media caused digital burnout syndrome (da Silva et al., 2024). These findings provide an important framework for understanding the negative effects of digitalization on the psychosocial balance of individuals. Previous studies are similar to our findings.

In our study, Digital Deprivation and Digital Exhaustion We have reached the conclusion that there is a strong and positive relationship with . This result means that as digital

deprivation increases, the level of digital exhaustion also increases. A study conducted in Turkey found that nursing students have above-average levels of digital burnout (Durmuş et al., 2022). However, no study has been found that found a relationship between digital deprivation and exhaustion similar to our result. This result can be considered as an important finding in terms of understanding the psychological effects of addiction to digital tools and lack of access on nursing students. A detailed examination of the relationship between digital deprivation and burnout can contribute to the development of strategies for the balanced use of digital technologies in nursing education. In addition, the lack of literature in this area offers new opportunities for future research.

Empathy and digital deprivation in the study There is also a negative and significant relationship between empathy and digital exhaustion. As digital deprivation increases and digital exhaustion increases, empathy levels decrease. Intensive and prolonged internet use can cause students to allocate less time and cognitive energy to academic tasks. Over time, this can lead to information overload, mental exhaustion, and symptoms of learning burnout. Learning burnout can manifest itself with symptoms such as feeling exhausted from work, disinterest in peers and personal learning performance, and low academic self-efficacy levels (Zhou et al., 2022). Analysis of 220 newly graduated nurses in China revealed that mobile phone addiction was significantly positively correlated with emotional exhaustion and cynicism. In contrast, mobile phone addiction was negatively correlated with decreased professional effectiveness (Ma et al., 2021). The relationship between the decrease in empathy level and digital deprivation and digital exhaustion is an important finding, especially for professional groups such as healthcare professionals where empathy skills are critical. In addition, the negative effects of problems such as learning burnout and mobile phone addiction on academic and professional performance indicate that this issue should be further investigated in education and business life. It should be noted that digital addiction may have consequences that are not only individual but also reflected in the quality of patient care, especially in areas that require intense human interaction, such as nursing. These findings emphasize the importance of raising awareness about limiting addiction to the digital world and developing healthy digital habits.

Conclusion

This study has revealed that digital burnout and digital deprivation negatively affect nursing students' empathy levels. In the digitalizing world, especially intensive and prolonged internet use has profound effects not only on academic performance but also on individuals'

emotional and social skills. Understanding the effects of digital burnout and deprivation , especially in professions such as nursing where empathy skills are vital, is of critical importance for the development of both educational processes and professional competencies. These findings indicate that strategies for the balanced use of digital technologies in nursing education should be developed.

Suggestions

Various measures can be taken to reduce digital burnout and support empathy levels in nursing education. Awareness training should be organized for students on the conscious and balanced use of digital tools. In addition, practices such as digital detox programs should be encouraged to prevent digital burnout. Including practices that will enhance empathy and emotional resilience skills in the education curriculum can contribute to both the professional and personal development of students. In future studies, the long-term effects of digital deprivation and burnout on the nursing profession, as well as the effectiveness of interventions to reduce these problems, should be examined.

REFERENCES

in Silva , F.P., Jerónimo , H.M., Henriques , P.L., & Ribeiro , J. (2024). Impact of digital burnout on the use of digital consumer platforms . *Technological Forecasting and Social Change* , 200 , 123172.

Durmuş, S. Ç., Gülnar, E., & Özveren, H. (2022). Determining digital burnout in nursing students : A descriptive research study . *nurse Education Today* , 111 , 105300.

El- Sayed , AAI, Goda , SFDA, & Elbially , GG (2024). Threats of nursing productivity in the digital era : investigating the interplay between smartphones addiction and procrastination behavior among nurses *BMC nursing* , 23 (1), 577.

Erten, P., & Ozdemir, O. (2020). The digital burnout scale . *Inonu University Faculty of Education Journal* , 21 (2), 668-683.

Göldağ , B. (2022). An investigation of the Relationship between university students ' digital burnout levels and perceived stress levels . *Journal of Learning and Teaching in the Digital Age* , 7 (1), 90-98.

Juan, S., & O'Connell , K. A. (2024). the Impact of Virtual Simulation on Empathy in Undergraduate Nursing Students . *Clinical Simulation in Nursing* , 93 , 101570.

Lee, W. L., Rambiar , PNIMS, Rosli , NQB, Nurumal , MS, Abdullah, SSS, & Danaee , M. (2022). Impact of increased digital use and internet gaming on nursing students ' empathy : A cross-sectional study . *nurse Education Today* , 119 , 105563.

Ma, H., Zou , J. M., Zhong , Y., & He, J. Q. (2021). the influence of mobile phones addiction and Work procrastination on burnout among Newly graduated Chinese nurses *Perspectives in psychiatric care* , 57 (4).

Ozer, D., Altun, O. Ş., & Avsar, G. (2023). Investigation of the relationship between internet addiction, communication skills and emotion regulation difficulties in nursing students. *Archives of Psychiatric Nursing* , 42 , 18-24.

Spreng , R., N., Kinnon , C. M., Mar, R. A., & Levine , B. (2009). The Toronto Empathy Questionnaire : Scale development and initial validation of a factor analysis solution to multiple empathy measures . *Journal of Personality Assessment* , 91 (1), 62-71.

Totan , T., Dogan , T., & Sapmaz, F. (2012). the Toronto empathy questionnaire : evaluation of psychometrics properties among Turkish university students . *Eurasian Journal of Education Research* , 46 , 179-198.

Turan Eroğlu, D., Ayaz, F., & Ayaz, H. (2024). A Content Analysis of Publications Regarding Internet Usage-Related Problems. *Iğdir University Journal of Social Sciences /Iğdir University Journal of Social Sciences* , (36).

Zhou, Z., Liu , H., Zhang, D., Wei , H., Zhang, M., & Huang, A. (2022). Mediating effects of academic self- efficacy and smartphone addiction on the Relationship between Professional Attitude and academic burnout in nursing students : A cross-sectional study . *nurse Education Today* , 116 , 105471.

CLIMATE CHANGE AND CHILDREN'S HEALTH: THE FUTURE OF A VULNERABLE GENERATION

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE ÇOCUKLARIN SAĞLIĞI: SAVUNMASIZ BİR NESLİN GELECEĞİ

Asst. Prof. Dr. Melike TAŞDELEN BAŞ

Selcuk University Aksehir KadirYallagoz Health School, Konya, Türkiye

meliketbas@gmail.com- <https://orcid.org/0000-0002-2389-7696>

Assoc. Prof. Dr. Funda ÖZPULAT

Selcuk University Aksehir KadirYallagoz Health School, Konya, Türkiye

fozpulat@selcuk.edu.tr- <https://orcid.org/0000-0002-1789-6216>

Abstract

Climate change is a critical global issue that directly and indirectly affects children's health. Due to their biological sensitivity and vulnerability to environmental factors, children are among the most at-risk groups. Direct impacts include heatwaves, extreme weather events, air pollution, and water contamination, while indirect effects are associated with food insecurity, infectious diseases, and forced migration.

Physical impacts involve respiratory illnesses, diarrhea, malnutrition, and heatstroke. Children in low-income regions face heightened risks due to increased food insecurity and poor sanitation. Psychological effects include anxiety, depression, stress, and post-traumatic stress disorder. Natural disasters often lead to social isolation, educational disruptions, and learning difficulties among children.

Protecting children from these impacts requires international cooperation and awareness initiatives. Measures addressing food security, access to clean water, and mental health support are essential in mitigating the consequences of climate change on children.

In conclusion, climate change poses a severe threat to children's current health and future well-being. Prioritizing children's needs through effective policies and solutions is crucial to building a sustainable future. Strengthening resilience among children is a vital step in addressing the long-term impacts of this global crisis.

Keywords: *Climate change, Children's health, Psychological effects, Food insecurity, Natural disasters*

Özet

İklim değişikliği, çocukların sağlığını doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen ciddi bir küresel sorundur. Çocuklar, biyolojik hassasiyetleri ve çevreye karşı duyarlılıkları nedeniyle bu etkiler karşısında savunmasız bir grup olarak öne çıkar. Doğrudan etkiler arasında sıcak hava dalgaları, aşırı hava olayları, hava kirliliği ve su kaynaklarının kirlenmesi yer alırken; dolaylı etkiler, gıda güvensizliği, bulaşıcı hastalıklar ve zorunlu göç gibi durumlarla ilişkilidir.

Fiziksel etkiler arasında solunum yolu hastalıkları, ishal, yetersiz beslenme ve sıcak çarpması gibi sorunlar öne çıkmaktadır. Özellikle düşük gelirli bölgelerde, çocuklar artan gıda güvensizliği ve kötü hijyen koşulları nedeniyle daha fazla risk altındadır. Psikolojik etkiler ise kaygı, depresyon, stres ve travma sonrası stres bozukluğu gibi ruhsal sorunları kapsar. Doğal afetlerin çocuklarda sosyal izolasyona, eğitim kaybına ve öğrenme güçlüklerine yol açması da sık görülen sonuçlardandır. Çocukların bu etkilerden korunması için uluslararası iş birliği ve farkındalık çalışmaları büyük önem taşır. Çocukların sağlığını korumak ve bu etkileri azaltmak için alınacak önlemler, iklim değişikliği ile mücadelede kritik bir rol oynayacaktır.

Sonuç olarak, iklim değişikliği çocukların mevcut sağlık durumunu ve gelecekteki refahını ciddi şekilde tehdit etmektedir. Bu nedenle, çocukların karşı karşıya olduğu bu risklere özel önem verilerek, gıda güvenliği, temiz su kaynaklarına erişim ve ruhsal destek gibi alanlarda etkin politikalar geliştirilmelidir. Çocukların dayanıklılığını artıracak çözümler üretmek, sürdürülebilir bir geleceğin inşasında hayati bir adımdır.

Anahtar Kelimeler: *İklim değişikliği, Çocuk sağlığı, Psikolojik etkiler, Gıda güvensizliği, Doğal afetler*

INTRODUCTION

Climate change is considered one of the most serious global health threats of the 21st century (Watts et al., 2015). Experts argue that this issue represents one of the greatest threats to humanity (World Economic Forum, 2018) and poses an existential risk to our planet. Children and young people, in particular, are more vulnerable to the effects of climate change. The increase in global average temperatures and changing climate conditions create significant and escalating risks across various domains.

Effects of Climate Change

Climate change is not limited to the increasing frequency and severity of extreme weather events such as wildfires, floods, hurricanes, and heatwaves. It also brings about the following impacts:

- Rising sea levels
- Changing seasons
- Prolonged droughts
- Changes in land use
- Loss of habitability in certain regions

This situation leads to numerous adverse consequences, including higher disease prevalence, food insecurity, reduced access to clean water, forced migration, increased intergroup conflicts, and economic hardships.

Vulnerability of Children

Children are uniquely vulnerable to the effects of climate change due to their biological susceptibility, immature physiology, and ways of interacting with their environments. For example:

- Conditions exacerbated by climate change, such as asthma, diarrhea, heat-related illnesses, vector-borne diseases, and malnutrition, threaten children's physiological health.
- These issues result in millions of missed school days annually (Kousky, 2016).

According to the World Health Organization, 88% of the disease burden attributable to climate change occurs in children under the age of five (Sheffield & Landrigan, 2011).

Direct Effects

The direct effects of climate change in the form of changes in weather patterns (such as storms, heatwaves, and rapid or delayed extreme weather events) are associated with childhood morbidity and mortality (Garcia & Sheehan, 2016). However, the fundamental evidence supporting the direct health impacts of these effects is limited (Amegah et al., 2016; Sheffield & Landrigan, 2011).

Temperature Changes

Children are particularly at risk of experiencing adverse health outcomes due to rapid or delayed heatwaves (O'Neill & Ebi, 2009). Heatwaves increase the overall mortality rates in a population (Kravchenko et al., 2013). Xu and colleagues found inconclusive evidence that the risk of child mortality increases during heatwaves; however, stronger evidence indicates a higher risk among infants (Xu et al., 2014).

Direct morbidity cases caused by heatwaves include heat stroke, electrolyte imbalances, kidney diseases, and respiratory and infectious diseases. Additionally, increases in average temperatures have been associated with higher prevalence of pediatric kidney stones and Kawasaki disease (Xu et al., 2014; Ghirardi et al., 2015).

Emergency department visits for children increase during heatwaves in urban areas (Ghirardi et al., 2015). This increase is particularly notable among infants, while the magnitude of risk varies across different countries and regions (Sheffield et al., 2018; van der Linden et al., 2019). Asthma has been identified as the most common respiratory disease associated with heatwaves (van Loenhout et al., 2018). Additionally, heatwaves can lead to an increase in unintentional injuries (im Kampe et al., 2016).

Combining socioeconomic and demographic factors with spatial modeling can help predict regions at risk of increased mortality and morbidity rates associated with heatwaves (Ho et al., 2018).

In addition to rising temperatures, cold temperatures also have harmful effects on children. Studies in Madrid, Spain, and China have reported an increase in mortality rates due to cold temperatures (Diaz et al., 2015). Rapid changes in temperature and humidity can lead to an increase in respiratory and infectious diseases in children (Cong et al., 2017).

Rainfall and Floods

Sudden storms and heavy rainfall increase the risk of flooding and the direct risk of death and illness from drowning and unintentional injuries. Increased rainfall is generally associated with higher mortality rates and can lead to long-term adverse health effects on children. Malnutrition and the spread of infectious diseases further exacerbate these impacts.

Flooding increases the prevalence of water- and foodborne infectious diseases, negatively affecting children's nutritional status and leading to diseases such as malaria and respiratory infections. This disproportionately impacts vulnerable populations (Phung et al., 2014; Zhang et al., 2019).

Droughts and Wildfires

Factors such as a lack of rainfall and increased evaporation due to rising temperatures can trigger droughts. Droughts often have more prolonged effects compared to other weather and climate events. In rural areas, droughts that strain essential water supplies contribute to respiratory and mental health issues, malnutrition, and the worsening of infectious diseases.

Long-term changes in rainfall patterns, particularly decreases in annual precipitation, have adversely affected child mortality rates in regions such as Africa's Sahel. Despite adaptation strategies, droughts weaken local ecosystems, push families into poverty, and force migration (Alpino et al., 2016; Dean et al., 2010).

Indirect Effects

Many of the indirect effects of climate change are multifaceted, operating over short and long time scales. These include ecosystem degradation, changing vector patterns, air pollution, and aeroallergens. This section also examines the mental health impacts of climate change on children.

The distribution of disease-carrying vectors is expected to be altered by climate change, with the transmission and survival of infectious pathogens being influenced by changing weather patterns (Ahdoot et al., 2015).

However, identifying specific infectious diseases sensitive to climate change remains challenging. Infectious diseases generally exact a disproportionately high toll on children, particularly socioeconomically vulnerable children (UNICEF, 2024).

The relationship between local or regional weather trends and the geographical range, seasonality, and prevalence of malaria is well understood. Research is exploring the long-term effects of climate change on malaria vectors' distribution, the parasite itself, and child mortality and morbidity. In Uganda, short-term weather trend changes likely caused by climate change have created more favorable conditions for malaria transmission through high temperatures and increased flooding, hindering vector control efforts (Dasgupta, 2018; Ssempiira et al., 2018).

Climate variability, particularly changes in average temperature, is associated with shifts in dengue's geographic distribution. While there is limited quantitative research on the specific impacts on children, the disease burden and mortality caused by the virus are highest among rural children. One study estimated that nearly half of the global population might be at risk of dengue fever by the end of the century (Wunderlich et al., 2018).

In North America and Europe, Lyme disease, caused by the bacterium *Borrelia burgdorferi*, is transmitted by ticks, with children often being the most at-risk group. The bacterium's and tick's life cycles depend on factors such as temperature and humidity. Rising temperatures associated with climate change have expanded the geographical areas of Lyme disease transmission northward in North America and Europe and increased transmission risk in endemic areas. A recent study projected a 20% increase in disease incidence in the U.S. by mid-century under RCP 4.5 compared to current incidence rates (Dumic & Severnini, 2018).

The multifactorial etiology of diarrhea has made it challenging to link cases to climate change. However, a systematic review of the relationship between temperature and all-cause diarrhea suggested that climate change could be responsible for a significant portion of diarrhea cases (El-Fadel et al., 2012; Carlton et al., 2016).

The prevalence of pathogens such as *Escherichia coli*, *Cryptosporidium*, rotaviruses, and parasites (e.g., *Giardia* and *Toxoplasma gondii*) increases with higher temperatures in many climate regions. Rural areas with lower rainfall suffer higher diarrhea incidence rates in children due to the use of unsafe drinking water sources and limited hygiene (Lloyd et al., 2007).

- Every year, 400,000 children under the age of five—or 1,000 children daily—continue to die from diseases associated with inadequate water, sanitation, and hygiene.
- The challenge of delivering water, sanitation, and hygiene services to children in need is further complicated by water scarcity, floods, and hurricanes exacerbated by the climate crisis.
- UNICEF projections suggest that by 2040, one in four children under 18—approximately 600 million people—will live in areas of extremely high water stress (UNICEF, 2024).

Increased rainfall and humidity, driven by climate variability, are associated with a higher risk of bacterial and viral lower respiratory infections in children. Studies from Australia and China have shown that sudden extreme weather events such as heatwaves, low temperatures, and intense rainfall increase children's vulnerability to various pathogens causing such infections. Climate change will affect respiratory pathogen patterns in both rural and urban settings (Mirsaeidi et al., 2016).

Hand, foot, and mouth disease (HFMD), caused primarily by enteroviruses, predominantly infects children. The prevalence of HFMD has increased in Southeast Asia. Studies examining the relationship between climate variables and HFMD have shown that higher average temperatures, rainfall, humidity, and air pollution are associated with increased HFMD incidence in urban settings in China, Vietnam, and Japan (Duan et al., 2019).

Air Pollution and Aeroallergens Children's exposure to air pollution and aeroallergens has harmful effects, particularly on their respiratory systems. Of particular concern in relation to climate change are air pollutants such as particulate matter and ozone. Aeroallergens are expected to change in seasonality and concentration with climate change.

Particulate matter (PM) air pollution is a direct byproduct of fossil fuel combustion and will worsen due to climate change-related events such as droughts, wildfires, and dust storms (Schweitzer et al., 2018). Exposure to particulate matter adversely affects lung function in children, particularly those with asthma, leading to reduced peak expiratory flow and forced expiratory volume, which subsequently increases emergency department visits, hospital admissions, and mortality rates among children (Li et al., 2012; Ward, 2015).

In resource-limited and rural areas, the reduction in infant and child mortality rates due to improved electricity access may be offset by air pollution from biomass and petroleum sources (Gohlke et al., 2011).

Exposure to particulate pollution during pregnancy has been associated with adverse outcomes such as low birth weight, small size for gestational age, and later respiratory disorders in children. However, results across individual studies are inconsistent (Ha et al., 2017).

Perera and colleagues developed dose-response curves linking particulate matter exposure during pregnancy to preterm birth, low birth weight, and asthma incidence. Additionally, a relationship has been observed between particulate matter and high temperatures and low humidity, slightly increasing mortality and morbidity risks. However, these relationships are more complex when considering other climate variables (Perera et al., 2019).

Mental Health Although the impacts of climate change on children’s mental health have been under-researched, they have received more attention over the past decade. Burke and colleagues suggest that climate change, through frequent, rapid, and delayed-onset extreme weather events and socioeconomic disruptions, increases youth’s vulnerability to mental health disorders such as depression, post-traumatic stress disorder (PTSD), and anxiety. These impacts are especially severe among already disadvantaged children (Burke et al., 2018).

Psychological and Emotional Effects Many impacts of climate change affect children’s mental health alongside their physical health. The anticipated increase in extreme weather events (EWEs) is one of the primary factors negatively influencing children’s mental health (Gamble et al., 2016). Numerous studies document the effects of traumatic events on children (McDermott & Cobham, 2012).

Traumatic Experiences and Mental Health Issues

- **Post-Traumatic Stress Disorder (PTSD):** Prevalence estimates for PTSD diagnoses following disasters generally range between 15-30%. However, a study of Thai elementary school students after the Asian tsunami reported a rate of 57.3% (Piyasil et al., 2007).

- **Other Mental Health Issues:** Depression, anxiety, phobias, panic, sleep disorders, attachment problems, and substance abuse are common (Simpson et al., 2011; Ahdoot & Pacheco, 2015; Goldmann & Galea, 2014).
- **Psychological Impacts:** Traumatic experiences can disrupt children's emotional regulation, cognitive abilities, learning processes, and behavior (Clayton et al., 2017).

Long-Term Effects Chronic and repeated stressful early-life events can predispose individuals to adverse mental health outcomes later in life (Faravelli et al., 2012). Factors such as displacement, increased family stress (Simpson et al., 2011), and disruptions in social support networks (Ahdoot & Pacheco, 2015) exacerbate these effects.

Food Insecurity and Malnutrition Malnutrition is a leading contributor to global child mortality and morbidity (UNICEF, 2024). Empirical evidence on how climate change affects child health through its impact on nutrition is emerging, focusing primarily on rural areas (Phalkey et al., 2015).

The drivers and interactions between malnutrition, overnutrition, and climate change are complex (Swinburn et al., 2019). Extreme weather events, such as floods, have long-term effects on children's nutritional status, with the most disadvantaged children being at the greatest risk (Datar et al., 2013).

Children's dietary patterns and built environments interact to facilitate unhealthy diets and decreased physical activity levels, increasing the risk of overnutrition (Sheffield & Galvez, 2009).

Similar to malnutrition, risk factors associated with overnutrition are most prevalent among socioeconomically vulnerable children in urban settings. Overnutrition, malnutrition, and climate change appear to share a common set of causes that require systematic approaches for solutions (Hasegawa et al., 2016).

Socioeconomic Hardship, Education, Migration, and Toxic Exposure Increased frequency of extreme weather events and general climate change-induced alterations in temperature and rainfall are likely to increase children's exposure to toxic substances such as organic pollutants,

pesticides, and heavy metals. Exposure to these toxic substances can cause not only acute poisoning but also long-term health impacts such as endocrine or neurological dysfunction (Pronczuk & Surdu, 2008).

In-Utero Exposure The impacts of climate change on pregnant mothers are becoming clearer, with studies focusing on the intersection of maternal and child health with climate variability (Rylander et al., 2013). For instance, extreme temperature fluctuations during pregnancy have been linked to an increased risk of preterm birth, though findings vary across studies and are less significant in some high-income settings (Carolan-Olah & Frankowska, 2011; Dadvand et al., 2011; Ngo & Horton, 2016).

Water scarcity driven by climate variability has also been identified as a factor increasing preterm birth risks (Rocha & Soares, 2015). Additionally, extreme temperatures, low rainfall, and high levels of air pollution have been associated with lower birth weights and shorter lengths at birth, affecting neonatal health and child development (Rocha & Soares, 2015).

The Role of Nurses Climate change poses a severe threat to human health, disproportionately affecting vulnerable populations, especially children, pregnant women, and the elderly. Children with chronic health issues such as asthma are at the highest risk of adverse health effects from climate change. In this context, nurses play a critical role in protecting children and supporting their health amidst climate challenges.

School nurses, in particular, act as advocates and care providers for children during a time of heightened vulnerability to the health impacts of climate change. School-aged children are especially affected by poor air quality, rising temperatures, and increased pollen counts. By monitoring children's health and mitigating negative impacts, school nurses are pivotal in addressing the health consequences of climate change. Additionally, school nurses can enhance their expertise by participating in ongoing training related to climate-sensitive care.

Nurses should raise awareness about climate change, contribute to research, implement practice changes, and address local health impacts of climate change. Enhancing children's access to healthcare and advocating for climate justice are among the most critical duties of nurses, especially school nurses (May & Noel, 2020).

UNICEF’s “The Climate Crisis as a Child Rights Crisis” Report UNICEF’s report highlights how children are disproportionately affected by climate change due to their physical, psychological, and social vulnerabilities.

Key findings include:

- Approximately 1 billion children worldwide face “extremely high risk” from climate change impacts.
- Children are increasingly exposed to environmental stressors such as extreme weather events, water scarcity, air pollution, and infectious diseases.
- The climate crisis restricts children’s access to essential services such as health, education, nutrition, and protection.

Proposed solutions include reducing greenhouse gas emissions, developing resilient infrastructure for children, increasing climate education, and involving children in decision-making processes. Additionally, recovery from the COVID-19 pandemic should be approached in a green and inclusive manner.

This report emphasizes the urgent need for action to mitigate the devastating effects of the climate crisis on child rights and to ensure a more sustainable future for children (UNICEF, 2024).

Conclusion and Recommendations

Climate change represents a pressing global threat with profound implications for child health. Its diverse effects—including increased frequency and intensity of extreme weather events, shifts in disease patterns, and environmental stressors—disproportionately affect children due to their physiological and psychological vulnerabilities. This crisis exacerbates existing disparities, particularly for socioeconomically disadvantaged children, highlighting the urgent need for targeted action. The documented impacts on respiratory health, mental well-being, and nutrition necessitate comprehensive strategies to mitigate risks and ensure sustainable futures for the youngest and most vulnerable populations.

To address these challenges, a multifaceted approach is essential. Governments and stakeholders must prioritize reducing greenhouse gas emissions and investing in resilient health

and infrastructure systems tailored to children's needs. Expanding access to education on climate resilience and integrating children's voices into decision-making processes can foster long-term adaptive capacities. Additionally, fostering collaboration among healthcare professionals, policymakers, and communities is vital to developing localized interventions. These steps will not only safeguard child health but also strengthen societal resilience against the ongoing and future impacts of climate change.

REFERENCES

Ahdoot, S., Pacheco, S. E., Council on Environmental Health, Paulson, J. A., Ahdoot, S., Baum, C. R., ... & Trasande, L. (2015). Global climate change and children's health. *Pediatrics*, *136*(5), e1468-e1484.

Alisic, E., Zalta, A. K., Van Wesel, F., Larsen, S. E., Hafstad, G. S., Hassanpour, K., & Smid, G. E. (2014). Rates of post-traumatic stress disorder in trauma-exposed children and adolescents: meta-analysis. *The British Journal of Psychiatry*, *204*(5), 335-340.

Alpino, T. A., Sena, A. R. M. D., & Freitas, C. M. D. (2016). Disasters related to droughts and public health—a review of the scientific literature. *Ciencia & saude coletiva*, *21*, 809-820.

Amegah, A. K., Rezza, G., & Jaakkola, J. J. (2016). Temperature-related morbidity and mortality in Sub-Saharan Africa: A systematic review of the empirical evidence. *Environment international*, *91*, 133-149.

Burke, S. E., Sanson, A. V., & Van Hoorn, J. (2018). The psychological effects of climate change on children. *Current psychiatry reports*, *20*, 1-8.

Carlton, E. J., Woster, A. P., DeWitt, P., Goldstein, R. S., & Levy, K. (2016). A systematic review and meta-analysis of ambient temperature and diarrhoeal diseases. *International journal of epidemiology*, 45(1), 117-130.

Carolan-Olah, M., & Frankowska, D. (2014). High environmental temperature and preterm birth: a review of the evidence. *Midwifery*, 30(1), 50-59.

Clayton, S., Manning, C., Krygsmann, K., & Speiser, M. (2017). Mental health and our changing climate: Impacts, implications, and guidance. *Washington, DC: American Psychological Association and ecoAmerica*.

Cong, X., Xu, X., Zhang, Y., Wang, Q., Xu, L., & Huo, X. (2017). Temperature drop and the risk of asthma: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 22535-22546.

Dadvand, P., Basagana, X., Sartini, C., Figueras, F., Vrijheid, M., De Nazelle, A., ... & Nieuwenhuijsen, M. J. (2011). Climate extremes and the length of gestation. *Environmental health perspectives*, 119(10), 1449-1453.

Dasgupta, S. (2018). Burden of climate change on malaria mortality. *International journal of hygiene and environmental health*, 221(5), 782-791.

Datar, A., Liu, J., Linnemayr, S., & Stecher, C. (2013). The impact of natural disasters on child health and investments in rural India. *Social Science & Medicine*, 76, 83-91.

Dean, J. G., & Stain, H. J. (2010). Mental health impact for adolescents living with prolonged drought. *Australian Journal of Rural Health*, 18(1), 32-37.

Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I. J., Ortiz, C., & Linares, C. (2015). Comparison of the effects of extreme temperatures on daily mortality in Madrid (Spain), by age group: The need for a cold wave prevention plan. *Environmental Research*, 143, 186-191.

Duan, C., Zhang, X., Jin, H., Cheng, X., Wang, D., Bao, C., ... & Min, J. (2019). Meteorological factors and its association with hand, foot and mouth disease in Southeast and East Asia areas: a meta-analysis. *Epidemiology & Infection*, 147, e50.

Dumic, I., & Severnini, E. (2018). “Ticking bomb”: the impact of climate change on the incidence of Lyme disease. *Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology*, 2018(1), 5719081.

El-Fadel, M., Ghanimeh, S., Maroun, R., & Alameddine, I. (2012). Climate change and temperature rise: Implications on food-and water-borne diseases. *Science of the Total Environment*, 437, 15-21.

Faravelli, C., Sauro, C. L., Godini, L., Lelli, L., Benni, L., Pietrini, F., ... & Ricca, V. (2012). Childhood stressful events, HPA axis and anxiety disorders. *World journal of psychiatry*, 2(1), 13.

Gamble, J. L., Balbus, J., Berger, M., Bouye, K., Campbell, V., Chief, K., ... & Wolkin, A. F. (2016). *Ch. 9: Populations of concern* (pp. 247-286). US Global Change Research Program, Washington, DC.

Garcia, D. M., & Sheehan, M. C. (2016). Extreme weather-driven disasters and children’s health. *International journal of health services*, 46(1), 79-105.

Ghirardi, L., Bisoffi, G., Mirandola, R., Ricci, G., & Baccini, M. (2015). The impact of heat on an emergency department in Italy: Attributable visits among children, adults, and the elderly during the warm season. *PloS one*, 10(10), e0141054.

Gohlke, J. M., Thomas, R., Woodward, A., Campbell-Lendrum, D., Prüss-Üstün, A., Hales, S., & Portier, C. J. (2011). Estimating the global public health implications of electricity and coal consumption. *Environmental health perspectives*, 119(6), 821-826.

Goldmann, E., & Galea, S. (2014). Mental health consequences of disasters. *Annual review of public health*, 35(1), 169-183.

Ha, S., Zhu, Y., Liu, D., Sherman, S., & Mendola, P. (2017). Ambient temperature and air quality in relation to small for gestational age and term low birthweight. *Environmental research*, 155, 394-400.

Hasegawa, T., Fujimori, S., Takahashi, K., Yokohata, T., & Masui, T. (2016). Economic implications of climate change impacts on human health through undernourishment. *Climatic Change*, 136, 189-202.

Ho, H. C., Knudby, A., Chi, G., Aminipouri, M., & Lai, D. Y. F. (2018). Spatiotemporal analysis of regional socio-economic vulnerability change associated with heat risks in Canada. *Applied Geography*, 95, 61-70.

im Kampe, E. O., Kovats, S., & Hajat, S. (2016). Impact of high ambient temperature on unintentional injuries in high-income countries: a narrative systematic literature review. *BMJ open*, 6(2), e010399.

Kousky, C. (2016). Impacts of natural disasters on children. *The Future of children*, 73-92.

Kravchenko, J., Abernethy, A. P., Fawzy, M., & Lyerly, H. K. (2013). Minimization of heatwave morbidity and mortality. *American journal of preventive medicine*, 44(3), 274-282.

Li, S., Williams, G., Jalaludin, B., & Baker, P. (2012). Panel studies of air pollution on children's lung function and respiratory symptoms: a literature review. *Journal of Asthma*, 49(9), 895-910.

Lloyd, S. J., Kovats, R. S., & Armstrong, B. G. (2007). Global diarrhoea morbidity, weather and climate. *Climate Research*, 34(2), 119-127.

May, K., & Noel, D. (2020). School nurses and climate change. *Annual Review of Nursing Research*, 38(1), 275-286.

McDermott, B., & Cobham, V. (2012). *A road less travelled: A guide to children, emotions and disasters*. Brett McDermott & Vanessa Cobham.

Mirsaeidi, M., Motahari, H., Taghizadeh Khamesi, M., Sharifi, A., Campos, M., & Schraufnagel, D. E. (2016). Climate change and respiratory infections. *Annals of the American Thoracic Society*, 13(8), 1223-1230.

Ngo, N. S., & Horton, R. M. (2016). Climate change and fetal health: The impacts of exposure to extreme temperatures in New York City. *Environmental research*, 144, 158-164.

O'Neill, M. S., & Ebi, K. L. (2009). Temperature extremes and health: impacts of climate variability and change in the United States. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 51(1), 13-25.

Perera, F., Ashrafi, A., Kinney, P., & Mills, D. (2019). Towards a fuller assessment of benefits to children's health of reducing air pollution and mitigating climate change due to fossil fuel combustion. *Environmental research*, 172, 55-72.

Pfefferbaum, B., Jacobs, A. K., Jones, R. T., Reyes, G., & Wyche, K. F. (2017). A skill set for supporting displaced children in psychological recovery after disasters. *Current Psychiatry Reports*, 19, 1-8.

Phalkey, R. K., Aranda-Jan, C., Marx, S., Höfle, B., & Sauerborn, R. (2015). Systematic review of current efforts to quantify the impacts of climate change on undernutrition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(33), E4522-E4529.

Phung, D., Huang, C., Rutherford, S., Chu, C., Wang, X., & Nguyen, M. (2014). Association between annual river flood pulse and paediatric hospital admissions in the Mekong Delta area. *Environmental research*, 135, 212-220.

Piyasil, V., Ketuman, P., Plubrukarn, R., Jotipanut, V., Tanprasert, S., Aowjinda, S., & Thaeeromanophap, S. (2007). Post traumatic stress disorder in children after tsunami disaster in Thailand: 2 years follow-up. *Medical journal of the Medical Association of Thailand*, 90(11), 2370.

Pronczuk, J., & Surdu, S. (2008). Children's environmental health in the twenty-first century: Challenges and solutions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1140(1), 143-154.

Rocha, R., & Soares, R. R. (2015). Water scarcity and birth outcomes in the Brazilian semi-arid. *Journal of Development Economics*, 112, 72-91.

Rylander, C., Øyvind Odland, J., & Manning Sandanger, T. (2013). Climate change and the potential effects on maternal and pregnancy outcomes: an assessment of the most vulnerable—the mother, fetus, and newborn child. *Global health action*, 6(1), 19538.

Schweitzer, M. D., Calzadilla, A. S., Salamo, O., Sharifi, A., Kumar, N., Holt, G., ... & Mirsaeidi, M. (2018). Lung health in era of climate change and dust storms. *Environmental research*, 163, 36-42.

Sheffield, P. E., & Galvez, M. P. (2009). US childhood obesity and climate change: moving toward shared environmental health solutions. *Environmental Justice*, 2(4), 207-214.

Sheffield, P. E., & Landrigan, P. J. (2011). Global climate change and children's health: threats and strategies for prevention. *Environmental health perspectives*, 119(3), 291-298.

Sheffield, P. E., Herrera, M. T., Kinnee, E. J., & Clougherty, J. E. (2018). Not so little differences: variation in hot weather risk to young children in New York City. *Public health*, 161, 119-126.

Simpson, D. M., Weissbecker, I., & Sephton, S. E. (2011). Extreme weather-related events: Implications for mental health and well-being. *Climate change and human well-being: Global challenges and opportunities*, 57-78.

Ssempiira, J., Kissa, J., Nambuusi, B., Mukooyo, E., Opigo, J., Makumbi, F., ... & Vounatsou, P. (2018). Interactions between climatic changes and intervention effects on malaria spatio-temporal dynamics in Uganda. *Parasite epidemiology and control*, 3(3), e00070.

Swinburn, B. A., Kraak, V. I., Allender, S., Atkins, V. J., Baker, P. I., Bogard, J. R., ... & Dietz, W. H. (2019). The global syndemic of obesity, undernutrition, and climate change: the Lancet Commission report. *The lancet*, 393(10173), 791-846.

UNICEF. (2024). *Environment and Climate Change*. Retrieved from <https://www.unicef.org/environment-and-climate-change>

van der Linden, N., Longden, T., Richards, J. R., Khursheed, M., Goddijn, W. M., Van Veelen, M. J., ... & van der Linden, M. C. (2019). The use of an ‘acclimatisation’ heatwave measure to compare temperature-related demand for emergency services in Australia, Botswana, Netherlands, Pakistan, and USA. *PloS one*, 14(3), e0214242.

van Loenhout, J. A. F., Delbiso, T. D., Kiriliouk, A., Rodriguez-Llanes, J. M., Segers, J., & Guha-Sapir, D. (2018). Heat and emergency room admissions in the Netherlands. *BMC Public Health*, 18, 1-9.

Ward, C. J. (2015). It's an ill wind: the effect of fine particulate air pollution on respiratory hospitalizations. *Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'économie*, 48(5), 1694-1732.

Watts, N., Adger, W. N., Agnolucci, P., Blackstock, J., Byass, P., Cai, W., ... & Costello, A. (2015). Health and climate change: policy responses to protect public health. *The lancet*, 386(10006), 1861-1914.

World Economic Forum. (2018). *Global risks report* [Internet]. WEF. Retrieved from <http://reports.weforum.org/global-risks-2018/preface-2/>

Wunderlich, J., Acuna-Soto, R., & Alonso, W. J. (2018). Dengue hospitalisations in Brazil: annual wave from West to East and recent increase among children. *Epidemiology & Infection*, 146(2), 236-245.

Xu, Z., Sheffield, P. E., Su, H., Wang, X., Bi, Y., & Tong, S. (2014). The impact of heat waves on children's health: a systematic review. *International journal of biometeorology*, 58, 239-247.

Zhang, N., Song, D., Zhang, J., Liao, W., Miao, K., Zhong, S., ... & Huang, C. (2019). The impact of the 2016 flood event in Anhui Province, China on infectious diarrhea disease: An interrupted time-series study. *Environment international*, 127, 801-809.

TOPUK KANI ALMA İŞLEMİNDE YAPILAN YAYGIN HATALAR: LİTERATÜR DERLEMESİ

Hem. Merve Selenay KAŞ

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü,
selenaykas80@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-6597-510X

Prof. Dr. Ayşe Sonay TÜRKMEN

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi
asonaykurt@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3716-3255

ÖZET

Yenidoğan taramalarının amacı, tedavi edilmediğinde ileriye yönelik sekellere ve ölüme sebep olabilecek doğumsal metabolik ve endokrin hastalıkları erken tespit etmektir. Bunun için ülkemizde yenidoğanlardan doğumdan sonraki 48- 72. saatler arasında topuk kanı alma işlemi yapılmaktadır. Topuktan alınan kanla ülkemizde altı hastalığın taraması yapılmaktadır. Uygulama sırasında Dr. Robert Guthrie tarafından geliştirilmiş olan özel bir test kullanılmaktadır. İşlem topuk kanının, uygun yöntem ve koşullarda Guthrie kağıdına aktarılıp, test edilmesiyle tamamlanır. Kalıtsal hastalıkların teşhisinde ve tedavisinde sağlık çalışanlarının geçerli ya da yeterli kan örneği alması temel noktayı oluşturur. Tarama testinin yapılmasında sağlık çalışanlarına bazı görev ve sorumluluklar düşmektedir. Bu görev ve sorumlulukların yerine getirilmesi testin doğru uygulanıp, sonuçların doğru çıkması açısından çok önemlidir. Ancak literatürde de belirtildiği üzere topuk kanı alma işleminde birçok hatalar yapılmaktadır. Topuk kanı alma işlemi sırasında yapılan yaygın hatalar; topuk kanının uygun ve doğru zamanda alınmaması, topuk kanı alınmadan önce topuğun ısıtılmaması, topuk kanı örneği alınırken topuğun gerektiğinden fazla sıkılması, topuktan alınmış olan kanın kartın arka yüzeyinden de emdirilmesi, örneğin saklanması ve transferine yönelik hatalar olarak sıralanabilir. Bu derlemenin amacı topuk kanı alma işlemi sırasında hemşirelerin yaptığı yaygın hataları literatür doğrultusunda incelemek ve öneriler geliştirmektir. Literatür değerlendirmesi sonucunda topuk kanı alma işlemi sırasında yapılan hatalara ek olarak sağlık profesyonellerinin işlem ile ilgili bilgi düzeylerinin farklılık gösterdiği, işleme yönelik eğitim alma, çalışma yılı gibi bazı değişkenlere göre bilgi düzeylerinin değiştiği bildirilmiştir. İşlemin başarısında hemşirelerin bu konudaki bilgi düzeylerinin önemi göz önüne alındığında topuk kanı alma işlemini yapan tüm hemşirelerin hizmet içi eğitimlerle standart eğitim içerikleri doğrultusunda bilgilendirilmeleri önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yenidoğan taramaları; topuk kanı taraması; Guthrie testi; sağlık çalışanı

1. GİRİŞ

Neonatal Tarama Programı (NTP), yenidoğan döneminde belirti veren metabolik ve endokrin hastalıkların yol açtığı sağlık sorunlarını ve erken dönemde belirti vermeyen hastalıkların tanınmasını sağlayan önemli programlardır. Bu programlar aynı zamanda ülkenin ve ailenin ekonomik yükünü önlemeyi, akraba evliliklerini azaltmayı ve ebeveynlere genetik danışmanlık sunmayı hedefleyen, mortaliteyi ve morbiditeyi önlemeyi sağlayan halk sağlığı programıdır (Akova ve ark., 2022; Pinheiro ve ark., 2021). Belirti göstermeyen metabolizma hastalıkları erken tanılanamayıp, tedaviye geç başlanıldığında veya başlanılmadığında metabolik asidoz, mental retardasyon, koma, nöbet gibi kalıcı sekel ve ölüm riski doğurabilir. Bu riski azaltmak için yenidoğan taramaları gerçekleştirilmelidir (Evcili ve ark., 2017).

Ülkemizde metabolik hastalıkları tespit etmek için yenidoğanlardan doğumdan sonraki 48- 72. saatler arasında topuk kanı alma işlemi yapılmaktadır. Topuk kanında Fenilketonüri (FKÜ), Konjenital Hipotroidi (KH), Konjenital Adrenal Hiperplazi (KAH), Kistik Fibrozis (KF), Biyotinidaz Eksikliği (BE) ve Spinal Müsküler Atrofi (SMA) hastalıklarının taraması yapılmaktadır (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022). Erken dönemde hastalığı tespit edilen yenidoğanlara, diyet, formül mama, hormon ve medikal tedavi gibi yöntemlerle yaşam kalitelerini artırarak sağlıklı bir şekilde hayatlarına devam etmeleri sağlanmaktadır (Ülker ve Şanlıer, 2018).

Sağlık çalışanlarının özellikle de hemşirelerin doğru teknikle topuk kanı örneğinin alınması, saklanması, transfer edilmesi, sonuçların takip edilmesi, ailelerin bilgilendirilmesi ve eğitim gibi konularda önemli sorumlulukları bulunmaktadır (Büyük, 2014). Topuk kanı örneğinin alınması, saklanması, transfer edilmesi sırasında yapılan hatalar, testin yanlış sonuç vermesine ve testlerin tekrarlanmasına sebep olmaktadır. Hastalıkların tespit edilip, tanınması aşamasında testin tekrar edilmesi gecikmelere sebep olmaktadır. Zaman metabolik hastalıkların önlenmesi ve tedavi edilmesinde önemlidir. Bu nedenle testin doğru teknikle, doğru zamanda, doğru miktarda örnekle alınması ve güvenle saklanması oldukça önemlidir (Erbay ve Yıldız, 2020; Bayrak, 2021).

Türkiye’ de Yenidoğan Topuk Kanı Taramasının Yapılanması

Türkiye’ de 1987 yılında Fenilketonüri Tarama Programı başlamış, 1993 yılında iseyaygınlaştırılmıştır. Test içeriğinde yer alan ve taranan hastalıklar zamanla artmıştır. Örneğin, 25.12.2006 tarihinde fenilketonüri taramasının yanına konjenital hipotiroidi taraması eklenmiştir. Biyotinidaz eksikliği Ekim 2008’de, kistik fibrozis ise Ocak 2015’te eklenmiştir. Konjenital adrenal hiperplazisi taramasına 2017 yılında dört pilot ilde (Konya, Adana, Kayseri ve Samsun) başlanmış, 2022 yılında 81 ilde yaygınlaştırılmıştır. Son olarak spinal müsküler atrofi (SMA) 09.05.2022 tarihinde tarama paneline eklenmiştir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022). Bu hastalıkların tarama programına eklenmesi kadar önemli bir diğer unsur ise topuk kanı örneğinin uygun şekilde alınmasıdır. Bu nedenle özellikle topuk kanı örneği alınırken yapılan hataların bilinmesi önemlidir.

Topuk Kanı Örneği Alınırken Yapılan Hatalar

Literatür değerlendirmesi sonucunda hemşireler topuk kanı alınmadan önce, alınma sırasında ve sonrasında bazı hatalar yapmaktadırlar (Yıldız ve ark., 2006; Kırçalı, 2017; Bayrak, 2021; Bayrak, 2024). Topuk kanı alınmadan önce yapılan hatalar; topuk kanı alınması için uygun zaman diliminin belirlenmemesi, kan akımını artırmak için topuğun işleminden önce ısıtılması adımını gerçekleştirmemek ve topuğu %70'lik izopropil alkol ile temizledikten sonra deride kalmış olan alkolün steril gazlı bez ile kurulanmamasıdır. Topuk kanı alınma sırasında yapılan hatalar; topuğun steril bir lansetle uygun kısımlarından (medial ve lateral bölgelerinden) delinmemesi, ilk kan damlasının silinmemesi örnek olarak alınması, işlem sırasında topuğun gerektiğinden fazla sıkılması, topuktan alınmış olan kanın kartın arka yüzeyinden de emdirilmesidir. Topuk kanı alındıktan sonra yapılan hatalar; alınan kan örneğinin ısı ve ışıkla temasının engellenmeden kurutulması, kan örneğinin yatay pozisyonda oda ısısında 2-3 saat kurutulmadan zarflara konulmasıdır.

Literatürde bu hataların azalmasını sağlayan unsurlar da yer almaktadır. Bu unsurlar arasında özellikle sağlık çalışanlarının topuk kanı alma işlemiyle ilgili eğitim alma durumunun ve meslekte çalışma süresinin etkili olduğu belirtilmektedir. Buna göre topuk kanı alma işlemi ile ilgili eğitim aldıkça ve çalışma süresi arttıkça hemşirelerin topuk kanı alma işlemine yönelik hata oranlarının azaldığını söylenebilir. Topuk kanı alma işleminin doğruluk durumunu etkileyen bir diğer unsur ise topuk kanı örneğinin alınma zamanıdır.

Yenidoğan Topuk Kanı Örneğinin Alınma Zamanı

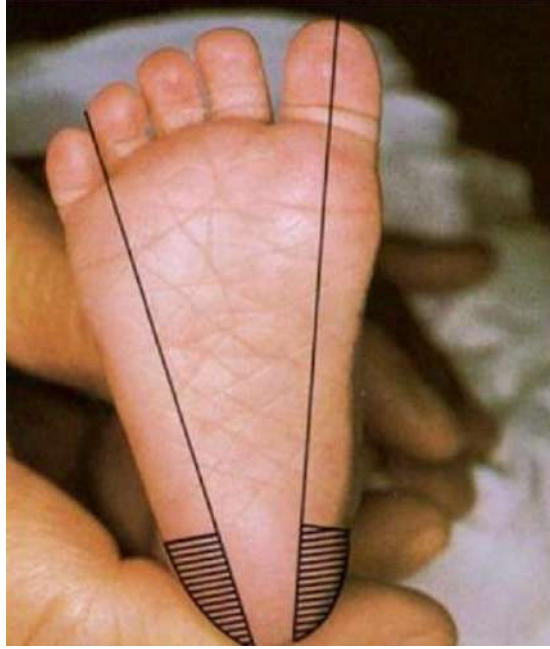
Numunelerde taranan hastalıkların doğru sonuçlar verebilmesi için alınma zamanları değişiklik göstermektedir. Tüm yenidoğanların hastaneden taburcu olmadan önce, ilk beslenmesinden sonraki en uygun zaman olan 48-72. saatler içinde topuk kanı alınmalıdır (Uslu ve ark., 2015). Hastanede gerçekleşmeyen doğumlarda ise ilk kan numunesinin en az 1 hafta içinde alınması gerekmektedir (Bakar, 2012; Bayrak ve Ünsal, 2022). Özel tedaviler (parenteral beslenme, antibiyotik, diyaliz vb.) için hastanede takip edilen yenidoğanlarda topuk kanı işlem öncesinde alınmalı ve özel durumu tarama kartında belirtilmelidir. Pretermelerde topuk kanı doğumdan sonraki 48-72. saatler arasında alınmalıdır. Bu süre içerisinde beslenen yenidoğan metabolize olmayan maddeleri kanında biriktirmiş olacaktır. Preterm bebek 14 günden fazla hastanede izleniyorsa taburcu olmadan önce topuk kanı alma işlemi tekrarlanmalıdır. Hastanede bir aydan fazla takip edilen preterm bebeklerin topuk kanı birinci ayda tekrarlanmalıdır (Fabie ve ark., 2019).

Topuk Kanı Numunesi Alma İşlemi

Numune alma işlem basamakları şöyledir (Erdim ve İnal, 2018; Bayrak ve Ünsal, 2022);

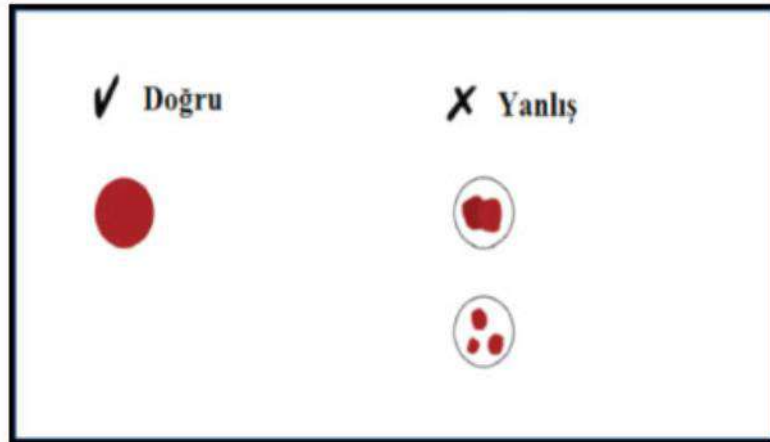
- Numune alınmadan önce malzemeler hazırlanmalıdır (2.4 mm' den küçük uçlu steril lanset, steril gazlı bez, steril alkol, eldiven, kan örneğinin alınması için filtre kağıdı).
- Kan akışını arttırmak için kan alınacak bölge havlu veya avuç içi ile ısıtılabilir, yenidoğanın ayağı kalp seviyesinin altında tutulmalıdır.
- Numune alacak hemşire ellerini yıkayarak, eldiven giymelidir. Kan örneğinin alınacağı bölge %70'lik izopropil alkol solüsyonuyla temizlenmelidir. Topuk kuru olmalıdır, fazla alkol solüsyonu kullanıldıysa steril gazlı bezle kurulanmalıdır (Aşkan ve Çetinkaya, 2019).

- Kan alınacak bölgenin seçiminde, bebeğin topuk kısmını uzunlamasına üç eşit parçaya ayıracak hayali çizgi çizilmelidir. Kan örneği ayağın plantar yüzünün lateral kısımlarından olmalıdır (Arslan ve Çiğdem, 2010).



Görsel 1. Topuk kanı alınacak bölge (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022)

- Belirlenen bölge tek seferde otomatik lanset yardımıyla delinmelidir (Altunhan ve Yılmaz, 2018). Kesi term bebekler için 2 mm'den, preterm bebekler için 1,0 mm'den daha derin olmamalıdır. Kesi yetersiz olmuşsa aynı yerden tekrardan delinmemeli işleme diğer topukla devam edilmelidir.
- Steril gazlı bezle ilk kan damlası silinmeli, ikinci kan damlası özel filtre kağıdına damlatılmalıdır. Tarama kağıdındaki 5 daireye kan numunesi eşit ve arkasına gelecek şekilde alınmalıdır. Dairelere el ile dokunulmamalı, topuk değdirilmemelidir.



Görsel 2. Doğru topuk kanı alınması (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022)

- Kanın hemoliz olmaması için topuk aşırı sıkılmamalıdır.



Görsel 3. Topuk kanı alınması (Joseph, 2017)

- İşlem bittikten sonra, gazlı bezle bastırılmalı ve ayak kalp seviyesinin üzerinde tutulmalıdır.
- Numune alınan kağıt güneş ışığından uzak, yatay şekilde, oda ısısında (18- 22°C), 2-3 saat kurumaya bırakılır. Kağıt tamamen kurumadan zarfa konulmamalıdır.

Tarama Kağıdı Gönderimi ve Sonuçların İzlenmesi

Tarama kağıdının gönderimi ve sonuçların izlenmesi şu şekildedir (Bayrak ve Ünsal, 2022);

- Tarama kağıtları laboratuvara gönderilene kadar buzdolabında +2 ila +8°C saklanmalıdır.
- Guthrie kartları kuruduktan sonra kan alınan yerlerine dokunulmadan ve üst üste gelmeyecek şekilde zarfların içinde konulmalıdır.
- Topuk kanı alınan yerlerden Guthrie kartları günlük olarak gönderilmelidir.
- Laboratuvara göndermek için hazırlanan tarama kartları İlçe Toplum Sağlığı Merkezine gönderilerek web sistemine kayıtları yapılmalıdır. Kayıt edilen numuneler Ankara ve İstanbul'daki laboratuvara gönderilmektedir (Hacettepe Üniversitesi, 2020).
- Negatif sonuçlarda kontrol kan numunesi yapılmaz. Pozitif çıkan sonuçlar İl Halk Sağlığı Müdürlüğü tarafından TSM'ye iletilir. TSM'ler tarafından ilgili ASM'ye bildirilir. ASM'de aileyi bilgilendirerek ikinci kontrol topuk kan numunesi alınır. Kontrol kan örneği de pozitif gelen yenidoğanların 3 ay içerisinde kesin tanısı koyulup sisteme girilmelidir.

Topuk Kan Numunesi Alma İşleminde Dikkat Edilmesi Gerekenler

Numune alma işlemi sırasında dikkat edilmesi gerekenler şunlardır (Bayrak ve Ünsal, 2022);

- Numune alınmadan önce ebeveynler tarama konusunda bilgilendirilmelidir. Formdaki 'Ebeveyn Rıza' bölümü numune alınan veya alınmayan her bebek için doldurulmalı ve ailesine imzalatılmalıdır.
- Ailenin ve bebeğin bilgileri (kimlik numarası, iletişim bilgileri, bebeğin doğum yeri, saati, tarihi, ağırlığı, gebelik haftası, kan örneği alınan saati, alındığı kurum, hemşire adı, özel tedavileri vb.) siyah renkli tükenmez kalem ile doldurulmalı ve ebeveynlerin iki kez kontrol etmesi sağlanmalıdır.
- Numune kartları örnek alınmadan önce kontrol edilmelidir. Bu kartlar temiz, kuru ve güneş ışığından uzak bir yerde muhafaza edilmelidir. Yıpranmış kartlar kullanılmamalıdır.
- Kartlar kullanılmadan önce son kullanma tarihine bakılarak güncelliği kontrol edilmelidir.
- İşlemden önce ve sonra kan örneği için ayrılmış yere elle dokunulmamalıdır.
- İşlem sırasında ağrıyı azaltmak için nonfarmakolojik yöntemlerden faydalanılabilir.
- İşlem sırasındaki ağrıyı ve hassasiyeti azaltmak için otomatik lansetler kullanılmalıdır.
- Numune alınacak topuk bölgesi temiz olmalıdır. Gaita, krem, parfüm vb. olmamalıdır.
- Tarama için sadece topuktan alınan kan kullanılmaktadır. Venöz damarlardan tüplere alınan kanlar kullanılmamaktadır (Ovalı, 2019).

Topuk Kanı Örneği Almada Hemşirelerin Sorumlulukları

Yenidoğandan uygun zaman ve doğru teknikle topuk kanının alınıp analize gönderilmesi ülkemizde tarama programındaki metabolizma hastalıklarının erken tanınıp tedaviye başlaması için önemlidir. Uygun zaman ve doğru teknikle alınan topuk kanının değerlendirilip, tedaviye başlanmasıyla çocuğun yaşamını kısıtlayan metabolizma hastalıklarının etkileri kaldırılmaya çalışılır (Raymond ve LaFranchi, 2010).

Topuk kanı alınmadan önce ebeveynlere işlemin neden ve nasıl yapılacağı açıklanmalıdır. Hangi durumlarda testin tekrarlanacağı ve test sonuçlarını nasıl takip edecekleri konusunda bilgilendirilmelidirler. Tarama sonucunda metabolizma hastalığı bulunan yenidoğanlar uzman bir hekime yönlendirilmelidirler. Hekim tarafından verilmiş olan ilaçlara ve diyeteye uyulup uyulmadığı konusunda hemşire tarafından takip edilmelidirler. Aileye kontrollere gitmeleri, ilaçları düzenli kullanmaları ve diyeteye uymaları konusunda danışmanlık verilmelidir (Kırçalı, 2017; Joseph, 2017).

Topuk kanı alma işleminde yapılan hatalara yönelik yapılan çalışmalar

Topuk kanı alma işlemine yönelik yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde alanyazında işlem kaynaklı ağrıya ve ağrı kontrolüne daha fazla yer verildiği görülmektedir. Topuk kanı işlemini yapılabilmesi için özellikle annelerin topuk kanı işleminin neden yapıldığını bilmesi ve bebeği açısından önemini kavraması gerekir. Turan Büyük (2014) yaptığı çalışmada annelerin %78'inin topuk kanı alma işleminin nedenini bilmediğini belirtmiştir. Aynı çalışmada annelerin bu işlemin yapılma nedenini bilme durumunun ise yaş, eğitim durumu, aile yapısı, annenin kalıtsal hastalığı gibi birçok faktörden etkilenmediği belirtilmiştir. Annelerin topuk kanının alınma nedenini bilmemesi ya da yanlış bilmesi, topuk kanı alma işleminin reddedilmesi gibi

durumların yaşanmasına da yol açmaktadır. Bu durum bilimsel ve adli birçok yazıda dile getirilmiş olmasına rağmen hala giderek artan bir topuk kanı alma işleminin reddedilmesi ile karşı karşıya kalınmaktadır.

Topuk kanı alma işlemi sırasında yapılan hatalar; el hijyenine dikkat edilmemesi ve guthrie testinde kan örneği alınacak filtre kağıdına dokunmak, kağıdı üzerindeki bilgilerin işlem sonrasında doldurulması, alınan kan örneğinin yetersiz alınması, uygun saklama koşullarında saklanmaması, nakil işlemlerindeki gecikmeler gibi birçok unsurdan kaynaklanabileceği belirtilmektedir. Bu nedenleri önlemeye yönelik alınan tedbirin ise hizmetiçi eğitimler olduğu görülmüştür. Eğitimler yararlı olmakla birlikte işlem kaynaklı yalancı pozitiflik ya da negatiflik oranlarını belirten çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle hemşirelik çalışmaları kapsamında topuk kanı alma işlem sonuçlarının hatalı olma oranı ve ilişkili unsurlara yönelik yeni çalışmaların yapılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Akova, İ., Kılıç, E., Koşaroğlu, N.E. Yenidoğan Metabolik ve Endokrin Hastalıkların 10 Yıllık Tarama Programı Sonuçlarının Değerlendirilmesi: Sivas İli, Türkiye Örneği. *Turkish Journal of Public Health*, 20,3, 2022.
- Altunhan, H., Yılmaz, F. H. Yenidoğanın Değerlendirilmesi ve Yenidoğan Taramaları. *Türkiye Klinikleri J Fam Med-Special Topics*, 9, 1, 2018.
- Arslan, A., Çiğdem, Z. *0-1 Yaş Arası Çocuğu Olan Ebeveynlerin Genişletilmiş Yenidoğan Tarama Programına İlişkin Düşünceleri*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
- Aşkan, F., Çetinkaya, Ş. Yenidoğan Tarama Testlerinde Çocuk Hemşiresinin Rolü. *Academic Studies on Natural and Health Sciences*, 5, 2, 2019.
- Bakar, T. F. Genişletilmiş Yenidoğan Taraması. *Türkiye Klinikleri J Pediatri*, 21,4, 2012.
- Bayrak, R., Ünsal, A., Güneş, A. The Knowledge Level Of The Healthcare Professionals Responsible For Newborns' Heel Prick Tests. *Journal of Pediatric Nursing*, 78, 2024.
- Bayrak, R., ve Ünsal, A. Yenidoğan Topuk Kanı Taraması İşlem Basamakları ve Görev Alan Sağlık Çalışanları. *Türkiye Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 5, 2, 2022.
- Bayrak, R., *Yenidoğan Topuk Kanı Taramasında Görev Alan Sağlık Çalışanlarının Konu ile İlgili Bilgi Düzeyleri*, Yüksek Lisans Tezi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Kırşehir, 2021.
- Büyük, E. T. Annelerin Bebeklerine Yapılan Topuk Kanı Alma İşlemi Hakkındaki Bilgileri. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 3, 3, 2014.
- Erbay, E. A., Yıldız, D. *Yenidoğan Taramaları Hakkında Anne Bilgi ve Tutumları Ölçeği Türkçe Geçerlilik ve Güvenirlilik Çalışması*, Yüksek Lisans Tezi, Gülhane Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2020.

- Erdim, L., İnal, S. Taking Samples and Sending in Newborn Screening Tests and Responsibilities of Nurses. *Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi*, 5,1, 2018.
- Evcili, F., Cesur, B., Yurtsal, B., Kaya, N., Annelerin Yenidoğan Tarama Testlerine İlişkin Görüşlerinin ve Tarama Programlarına Katılma Durumlarının Belirlenmesi. *Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 10, 1, 2017.
- Fabie, N.A.V., Pappas, K.B., Feldman, G.L. The Current State of Newborn Screening in the United States. *Pediatric Clinics of North America*, 66, 2, 2019.
- Hacettepe Üniversitesi. Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı Toplum İçin Bilgilendirme Dizisi. (2020). Ulusal Fenilketonüri Günü. <https://halksagligi.hacettepe.edu.tr/duyurular/halkayonelik/fku2020.pdf> (Erişim tarihi: 12.12.2024).
- <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/tarama-programlari/ntp.html> (Erişim tarihi: 07.10.2024).
- Joseph, R.A. Expanded Newborn Screening: Challenges to NICU Nurses. *Advances in Neonatal Care: Official Journal of the National Association of Neonatal Nurses*, 17,3, 2017.
- Kırcalı, B., *Ebe/Hemşirelerin Topuk Kanı Alma Uygulamalarının Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2017.
- Ovalı, F. Yenidoğan Taramaları. *Klinik Tıp Pediatri Dergisi*, 11, 4, 2019.
- Pinheiro, J.M.F., Flor, T.B.M., Marinho, C.D.S. R., Pires, V.C.D.C., Oliveira, L.I.C., Bezerra, M.R.O., Clementino, J.R., ve Andrade, F.B. Prevalence of the Five Newborn Screening Tests. *PLoS One*, 16, 9, 2021.
- Raymond, J., LaFranchi, S. H. Fetal and neonatal thyroid function: review and summary of significant new findings. *Current opinion in endocrinology, diabetes, and obesity*, 17, 1. 2010.
- Turak Büyük, E. Annelerin Bebeklerine Yapılan Topuk Kanı Alma İşlemi Hakkındaki Bilgileri. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi /Gümüşhane University Journal of Health Sciences*. 2014; 3 (3): 883-892
- Uslu HS, Zübarioğlu AU, Bülbül A. Neonatoloji Perspektifinden Selektif Metabolik Tarama Testleri. *JAREM*, 5, 2015.
- Ülker, İ., ve Şanlıer, N. Fenilketonüride Beslenme ve Yeni Tedavi Yaklaşımları. *Güncel Pediatri Dergisi*, 16, 2, 2018.
- Yıldız, S., Balcı, S., Görak, G. Guthrie Tarama Testi İçin Örnek Alma Uygulamalarının ve Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi Hemşirelik Yüksekokulu Dergisi*, 9,1, 2006.

Hafif Çelik Hangarların Sismik Performansının Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi

Yüksek Lisans Öğrencisi Nagihan Küçükönder

Mimarlık Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye,

nagihankonder@gmail.com

0009-0002-6024-6259

Doç.Dr.Ali İhsan Çelik

İnşaat Bölümü, Tomarza Mustafa Akıncıoğlu Meslek Yüksekokulu, Kayseri Üniversitesi,
Kayseri, Türkiye,

acelik@kayseri.edu.tr,

0000-0001-7233-7647

Özet

Hafif çelik yapılar, sağladıkları ekonomik ve yapısal avantajlar nedeniyle inşaat sektöründe giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu yapıların düşük ağırlığı, yüksek dayanıklılığı ve hızlı inşa süreçleri, özellikle deprem bölgelerinde güvenli ve maliyet etkin çözümler sunmaktadır. 2023 Kahramanmaraş depremi, mevcut yapıların büyük ölçüde yetersizliğini ortaya koymuş ve hafif çelik yapıların önemini bir kez daha göstermiştir. Bu çalışmada, Kahramanmaraş'ın Dulkadiroğlu ilçesinde bulunan Karpedo firmasına ait bir hangar-depo binasının sismik davranışı Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) kullanılarak analiz edilmiştir. İncelenen yapı, 15 metre uzunluğunda, 13 metre genişliğinde ve 8,5 metre yüksekliğinde olup, 100 mikron kalınlığında galvanizli çelik sacdan inşa edilmiştir. Yapının sismik performansı, Türkiye Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) standartlarına uygun şekilde analiz edilmiştir. Modal analiz, response spectrum analizi ve burkulma analizi sonuçlarına göre, yapının doğal frekansları, gerilme dağılımları ve deformasyonları detaylı olarak incelenmiştir. Sonuç olarak, elde edilen bulgular, hafif çelik yapıların yüksek mukavemet-ağırlık oranı ve elastik deformasyon kapasiteleri sayesinde deprem bölgelerinde güvenli bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu tür yapılar güvenli olmasının yanında hızlı üretim ve montaj süreçleri sayesinde kriz durumlarında hızlı yeniden yapılanma imkânı sağlamaktadır. Ayrıca, hafif çelik yapılar mimari esneklikleri sayesinde farklı ihtiyaçlara uyum sağlayarak kullanıcı odaklı tasarım fırsatları sunmakta hem fonksiyonel hem de estetik çözümler geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu yönleriyle, hafif çelik yapılar inşaat sektöründe güvenlik, ekonomi ve estetik arasındaki dengeyi sağlamada önemli bir rol üstlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hafif çelik yapı, sismik analiz, FEM analiz, Deprem, Güvenli yapı

1. Giriş

Türkiye, aktif fay hatları üzerinde yer alması nedeniyle tarih boyunca büyük depremlerle karşı karşıya kalmıştır. Bu da inşaat sektöründe deprem dayanıklı yapı tasarımını ve uygulamasını zorunlu hale getirmiştir. Özellikle 2023 yılında Kahramanmaraş ve çevresinde meydana gelen yıkıcı depremler, yapı stokunun deprem güvenliği açısından yetersiz olduğunu ve modern yapı çözümlerine olan ihtiyacı bir kez daha ortaya koymuştur. Bu bağlamda, hafif çelik yapılar, sundukları ekonomik, yapısal ve uygulama avantajlarıyla ön plana çıkmaktadır. Hafif çelik yapılar, düşük ağırlıkları ve yüksek mukavemetleri sayesinde deprem yüklerine karşı dirençli yapısal çözümler sunmaktadır. Hafif malzeme kullanımı, yapının toplam ağırlığını azaltarak deprem sırasında oluşan yatay kuvvetlerin etkisini minimuma indirmekte, böylece sismik performansı artırmaktadır. Ayrıca, bu yapıların hızlı montaj imkânı, deprem sonrası yeniden yapılanma süreçlerinde büyük bir avantajlar sağlamaktadır (Aksoy & Demirtaş, 2017).

2023 Kahramanmaraş depremi sonrası yapılan değerlendirmeler, bölgedeki eski yapıların büyük oranda hasar gördüğünü veya tamamen yıkıldığını göstermiştir. Buna karşılık, hafif çelik ve modüler yapı sistemlerinin deprem sonrası yeniden yapılanma için uygun bir çözüm olduğu belirlenmiştir. Bu tür yapıların depreme karşı gösterdiği dayanıklılık ve ekonomik uygulanabilirlik, inşaat sektöründe bu sistemlerin daha fazla tercih edilmesine yol açmaktadır. Bu bağlamda, modern mühendislik analiz araçlarının, özellikle Sonlu Elemanlar Metodu (Finite Element Method-FEM) gibi gelişmiş sayısal yöntemlerin, deprem dayanıklılığını değerlendirmedeki rolü büyüktür. FEM, karmaşık yapı sistemlerinin sismik davranışını modellemek ve analiz etmek için etkili bir yöntemdir. Yapısal elemanların deformasyonlarını, gerilme dağılımlarını ve bağlantı noktalarının performansını ayrıntılı bir şekilde inceleme imkânı sunar (Battye, 2010).

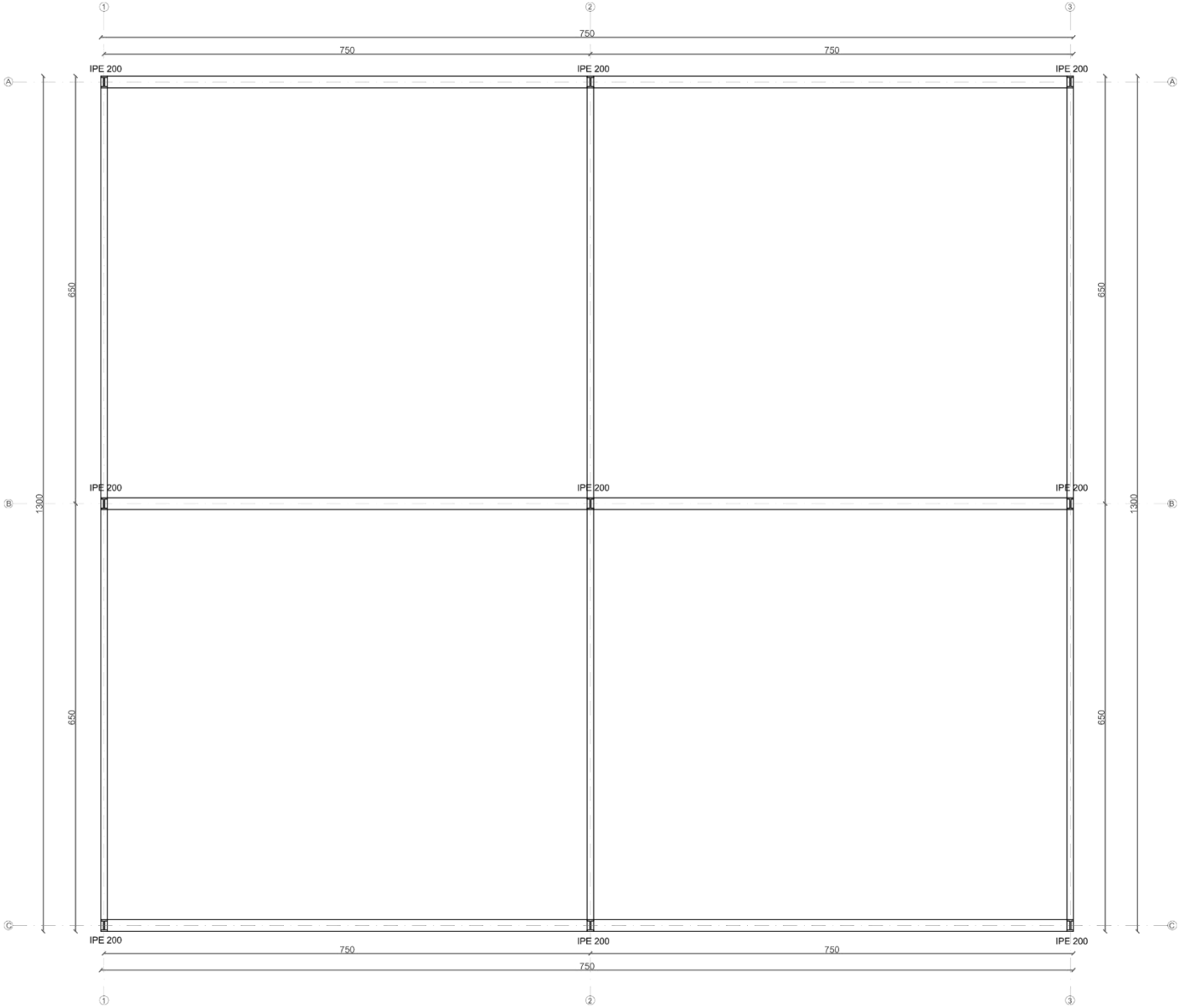
Bu çalışmada, Kahramanmaraş'ta bulunan bir hafif çelik hangar-depo binasının sismik davranışı FEM kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, yapının deprem yükleri altındaki performansını değerlendirmek, potansiyel zayıf noktaları belirlemek ve bu bulgular doğrultusunda deprem dayanıklılığını artıracak öneriler geliştirmektir. Mimari açıdan, hafif çelik yapılar, hızlı inşa edilebilme, düşük ağırlık ve yüksek dayanıklılık gibi avantajlar sunmakla birlikte, deprem gibi dinamik yükler altında gösterdikleri performans, özellikle sismik risklerin yüksek olduğu bölgelerde kritik bir öneme sahiptir. Bu analizler, yapının sadece dayanıklılığını değil, aynı zamanda mimari tasarımın güvenliğini ve sürdürülebilirliğini de göz önünde bulundurarak daha verimli ve estetik açıdan uyumlu yapıların tasarlanmasına katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak, hafif çelik yapıların mimari ve mühendislik disiplinleri arasındaki entegrasyonunu güçlendirerek, daha güvenli, dayanıklı ve çevreyle uyumlu tasarımların geliştirilmesine olanak tanıyacağı düşünülmektedir.

2.Yöntem

2.1. Yapının Tanımı

Bu çalışmada incelenen yapı, Kahramanmaraş ilinin Dulkadiroğlu ilçesinde, yüksek deprem riski taşıyan bir bölgede yer almaktadır. Karpedo firmasına ait olan bu hangar-depo binası, endüstriyel depolama ve lojistik faaliyetleri için tasarlanmıştır. Yapı, modern hafif çelik yapı teknolojileri kullanılarak inşa edilmiş olup, dayanıklılık, hızlı montaj ve maliyet etkinliği gibi özellikleri sayesinde özellikle deprem bölgelerinde tercih edilen bir yapı türüdür. Binanın toplam uzunluğu 15 metre, genişliği 13 metre ve yüksekliği 8,5 metre olup, geniş bir depolama alanı ve iç mekân hacmi sunmaktadır. Yapının taşıyıcı sistemi, çelik kolonlar, çelik kirişler ve galvanizli çelik sac panellerden oluşmaktadır. Taşıyıcı elemanlar, tek açıklıklı bir çerçeve sistemi şeklinde düzenlenmiştir. Yapıda kullanılan çelik, IPE200 profilleri ile sağlanmış olup, bu profiller yüksek mukavemet özellikleri ve uygun geometrisi ile yapı için ideal bir taşıyıcı eleman oluşturmuştur. Çatı yapısı, galvanizli çelikten imal edilmiş eğimli bir tasarıma sahiptir ve bu sayede kar ve yağmur gibi çevresel yüklerin etkili bir şekilde taşınması sağlanmaktadır. Yapı elemanları arasında yük aktarımı, yüksek mukavemetli cıvatalar ve kaynaklı birleşimlerle gerçekleştirilmiştir. Galvanizli çelik malzeme, 100 mikron kalınlığında bir kaplama ile korozyona karşı dayanıklı hale getirilmiştir. Görsel 1’de yapının statik çizimi ve ölçüleri verilmiştir.

Yapının tasarımında Kahramanmaraş’ın hem sismik hem de iklimsel koşulları göz önünde bulundurulmuştur. Hafif çelik malzemelerden inşa edilen yapı, deprem sırasında oluşabilecek yatay yükleri azaltmak ve sismik enerjiyi etkili bir şekilde dağıtmak amacıyla planlanmıştır. Hafif çelik sistem, yapının düşük ağırlığı sayesinde deprem sırasında oluşan kuvvetlerin minimize edilmesini sağlamış, aynı zamanda malzemenin yüksek dayanıklılığı sayesinde deprem yüklerine karşı güvenli bir performans göstermesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, incelenen yapının fiziksel ve yapısal özellikleri, FEM analizinde dikkate alınan önemli parametrelerin belirlenmesine katkıda bulunmuştur.



Görsel 1 Karpedo Binası Statik Çizimi

2.2. Sonlu Elemanlar Metodu (FEM)

Bu çalışma kapsamında, hafif çelik yapı modelinin modal ve sismik analizleri gerçekleştirilerek yapının deprem etkilerine karşı dinamik davranışı incelenmiştir. Analizler, ANSYS Workbench 2020 R2 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve Türkiye Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) gerekliliklerine uygun olarak tasarlanmıştır. Modal analiz ile yapının doğal frekansları ve mod şekilleri belirlenmiş, ardından yanıt spektrumu analizi kullanılarak sismik yüklerin etkisi altında maksimum yer değiştirme ve ivme değerleri hesaplanmıştır. Statik yapısal analiz ile yapının elastik sınırlar içerisindeki deformasyon ve gerilme davranışları incelenmiş, burkulma analizleriyle yapının kritik burkulma yükleri ve stabilite özellikleri değerlendirilmiştir.

Modal Analiz

Modal analiz, bir yapının doğal titreşim özelliklerini ortaya koyarak, deprem gibi dinamik etkiler altında sergileyeceği davranışı anlamayı amaçlamaktadır. Bu analiz sırasında, yapının hafif çelik olduğu belirtilmiş ve galvanizli çelik malzemeye ait elastik modül, yoğunluk ve akma mukavemeti gibi mekanik özellikler Görsel 2’de gösterildiği şekilde tanımlanmıştır.

Properties of Outline Row 4: Galvanizli Hafif çelik				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's Modulus and Poisson...		
6	Young's Modulus	210	MPa	
7	Poisson's Ratio	0,3		
8	Bulk Modulus	1,75E+08	Pa	
9	Shear Modulus	8,0769E+07	Pa	
10	Tensile Yield Strength	250	MPa	

Görsel 2 Galvanizli Hafif Çelik Materyal Özellikleri

Yapının kütle ve sertlik matrisleri kullanılarak doğal frekansları ve mod şekilleri elde edilmiştir. Modal analizde kullanılan temel denklem, Eigenvalue problemini temsil eden aşağıdaki eşitliktir:

$$[K] \cdot \{u\} = \lambda \cdot [M] \cdot \{u\} \quad (1)$$

Bu denklemde, [K] sertlik matrisi, [M] kütle matrisi, λ doğal frekansların kareleri ve $\{u\}$ ise mod şekillerini ifade etmektedir. Analiz sonucunda, yapının doğal frekansları ve bu frekanslara karşılık gelen mod şekilleri belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler, sismik analiz için bir temel oluşturmuş ve yapının dinamik özellikleri hakkında önemli bilgiler sağlamıştır.

Sismik Analiz (Response Spectrum Analizi)

Sismik analiz, deprem etkileri altında yapının ivme, hız ve yer değiştirme gibi dinamik tepkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. TBDY 2018 yönetmeliği doğrultusunda, Pazarcık depremine ait zemin sınıfı ve spektral parametreler dikkate alınmıştır. Bu bağlamda kullanılan temel spektral parametrelerse AFAD’ın yayınladığı Sismik Tehlike Raporundan alınmış, Çizelge 1’de görüldüğü şekilde belirtilmiştir:

Çizelge 1. 6 Şubat Kahramanmaraş depremine ait zemin ve Spektral değerler

Parametre	Değer
Ss	0,914
S1	0,244
Sds	1,097
SD1	0,366
PGA	0,383 g
PGV	23,775 cm/sn

Ss : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı	
S1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı	
Sds : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	
Sd1 : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı	
PGA : En büyük yer ivmesi (g)	
PGV : En büyük yer hızı (cm/sn)	

Spektral yer değiştirme (D) değerleri, elastik spektral ivmeler kullanılarak şu denklem yardımıyla hesaplanmıştır:

$$D(T)=(2\pi/T)2Sa(T)\cdot g \quad (2)$$

Bu eşitlikte, $Sa(T)$ elastik spektral ivme katsayısını, T ise periyodu ifade etmektedir. TBDY 2018 spektral yer değiştirme sınırları (T_A , T_B , T_C) doğrultusunda, yapının yer değiştirme değerleri ve frekans tepkileri değerlendirilmiştir. ANSYS Workbench yazılımında gerçekleştirilen response spectrum analizi ile yapı üzerindeki maksimum deplasman ve frekans değerleri belirlenmiştir.

Eigenvalue Buckling Analizi

Eigenvalue Buckling analizi, yapının stabilite sınırlarını ve burkulma yüklerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu analiz, sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kapsamında, sistemin kritik burkulma yüklerini (P_{cr}) ve burkulma modlarını hesaplamak için kullanılmıştır. Bu bağlamda, yapının rijitlik (K) ve geometrik rijitlik (K_g) matrisleri arasındaki ilişki, özdeğer problemi olarak ele alınmıştır:

$$[K-\lambda K_g]\{u\}=0 \quad (3)$$

Bu denklemde, K rijitlik matrisi, K_g geometrik rijitlik matrisi, λ (lamda) burkulma faktörü (eigenvalue) ve $\{u\}$ burkulma modlarını ifade eder. Analiz sırasında, yapıya uygulanan yükler doğrultusunda kritik burkulma yükleri ve bu yükler altında yapının sergilediği burkulma şekilleri belirlenmiştir. İlk özdeğer (λ_1) yapının en düşük burkulma yüküne karşılık gelirken, daha yüksek özdeğerler diğer burkulma modlarını temsil etmektedir.

Elde edilen analiz sonuçları, hafif çelik yapının stabilite performansını değerlendirerek burkulma riski altında güvenli tasarım parametrelerini ortaya koymuştur.

Kullanılan Deprem Verileri

Sismik analizlerde, Kahramanmaraş depremine özgü zemin sınıfı (örneğin, ZC veya ZD) ve deprem spektrumu dikkate alınmıştır. Kullanılan spektral ivme ve yer değiştirme değerleri, AFAD verileri ve literatürden alınan parametreler doğrultusunda oluşturulmuş, TBDY 2018'e uygun bir spektrum tanımlanmıştır. Deprem etkisi altındaki yapıların dinamik davranışını belirlemek için yapılan analizlerde, frekans ve yer değiştirme ilişkisi, spektral ivme (Sa) ve yer değiştirme (D) hesaplamalarına dayandırılır. Bu çalışma kapsamında Kahramanmaraş

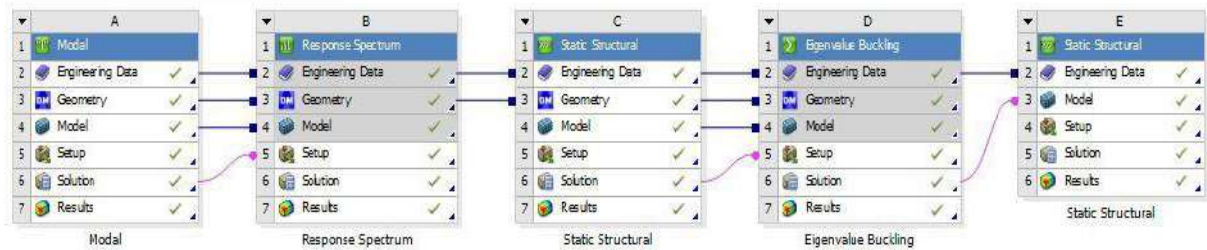
depremine ilişkin sismik parametreler ve TBDY 2018 yönetmeliğinde tanımlı eşitlikler kullanılarak frekans değerleri ile spektral yer değiştirme arasındaki ilişki incelenmiştir. Hesaplamalar, spektral ivme değerlerinin frekansa bağlı değişimini yansıtan eşitliklere dayanmakta ve bu değerler, yer değiştirme formülüne uygulanarak her bir frekans için milimetre cinsinden yer değiştirme elde edilmiştir. Bu bilgilerle oluşturulan frekans-displacement verileri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2 : Frequency/Displacement Verileri

Frequency [Hz]	Displacement [mm]
0,5	81
1	40,5
2	20,25
3	13,5
4	10,13
5	8,1
6	6,75
7	5,79
8	5,06
9	4,5
10	4,05

3.Bulgular

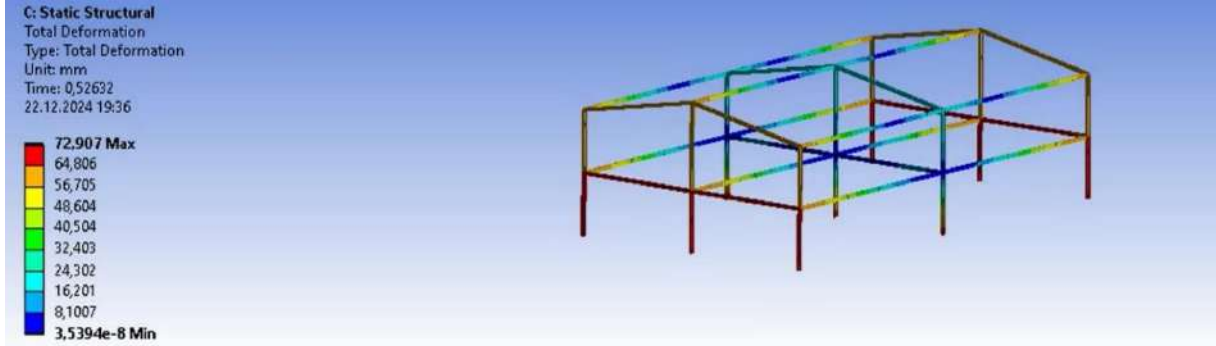
Yapılan analizde, hafif çelik yapı elemanlarının sismik performansı TBDY 2018 kriterlerine uygun olarak incelenmiştir. Frekans tabanlı hesaplama yöntemiyle elde edilen yer değiştirme değerleri ve tepkiler, 6 Şubat 2023/Pazarcık depremine ait sismik veriler kullanılarak belirlenmiştir. Model üzerinde yapılan işlemler ise Görsel 3’te verilmiştir.



Görsel 3 Analiz sıralamasını gösteren Ansys Workbench Arayüzü

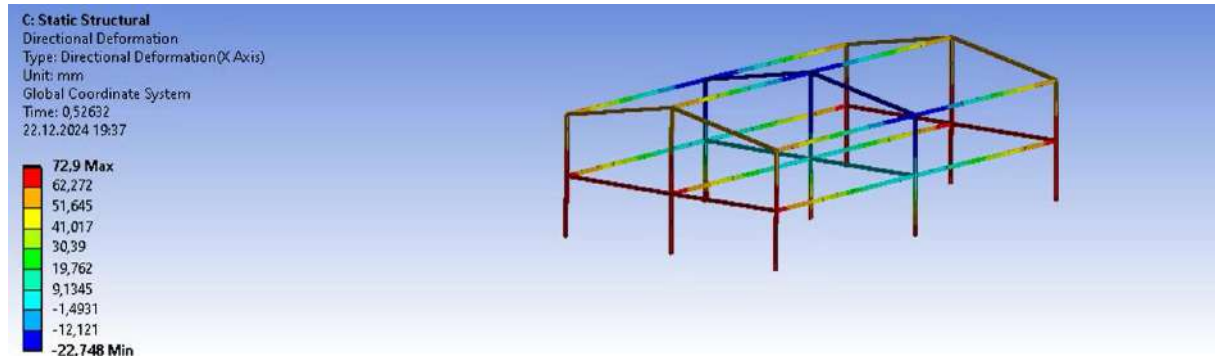
Tüm bu analizler sonucunda binanın total deformasyon (total deformation), yönlü deformasyon (directional deformation) Görsel 4, Görsel 5.’te verilmiştir.

Görsel 4'te görüldüğü gibi verilen tüm yükler sonucunda yapının maksimum yer değiştirmesi(displacement) 72,907 mm olarak gerçekleşmiştir. Görsel üzerindeki gerilme bölgelerine dikkat edildiğinde yükün kolon ve kirişlere homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu da yapı mimarisinin simetrik olduğunu göstermektedir.



Görsel 4 Yapının Total Deformasyon (Total Deformation) Özellikleri

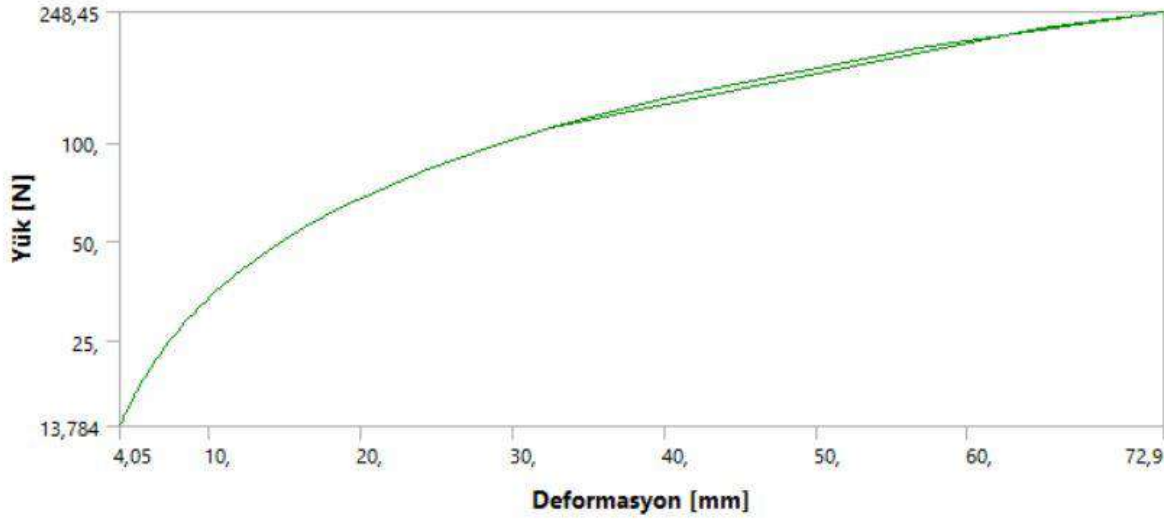
Görsel 5'te Yapının X yönünde yaptığı yönlü deformasyon verilmiştir. Verilere göre yapının X yönünde yaptığı maksimum yer değiştirmesi ise 72,907 mm olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda, yapının hem total yer değiştirme (72,907 mm) hem de X yönündeki yönlü yer değiştirme (72,907 mm) değerlerinin eşit olması, toplam deformasyonun büyük ölçüde X yönünde gerçekleştiğini ve diğer yönlerdeki yer değiştirmelerin ihmal edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir. Bu durum, yapıya uygulanan yüklerin etkisinin yapısal simetri ve yük dağılımı doğrultusunda daha çok X ekseninde yoğunlaştığını ve yapı mimarisinin bu yönde hareketi baskın kılacak şekilde tasarlandığını işaret etmektedir.



Görsel 5 Yapının Yönlü Deformasyon (Directional Deformation) Özellikleri

Tüm bu aşamalardan sonra elde edilen tepki kuvveti (force reaction) /deformasyon grafiği ise Görsel-6'daki gibidir. Görsel 5'teki Yük-yer değiştirme grafiğinde akma dayanımı tam olarak belli olmasa da, yaklaşık 40 MPa civarında olduğu ve bu noktada toplam yer değiştirmenin yaklaşık, 6 mm olduğu gözlemlenmektedir. Maksimum çekme dayanımının ise, 248 MPa kadar çıktığı ve toplam yer değiştirmenin 72,9 mm olduğu gözlemlenmektedir. Grafik, hafif çelik bir malzeme için tepki kuvveti (force reaction) ile deformasyon arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Tepki kuvveti, deformasyonla birlikte doğrusal olmayan ancak sürekli artan bir eğilim sergilemiştir. Eğrinin doğrusal olmayan yapısı, hafif çeliğin elastik deformasyon sınırlarına

kadar rijit bir davranış sergilediğini, ancak artan yük altında elastisite modülünden sapmaların meydana geldiğini göstermektedir. Bu durum, malzemenin esneklik sınırlarının zorlanmaya başladığını ve deformasyonun daha yüksek seviyelerde malzeme doğrusal olmayan davranışlarıyla ilişkilendirilebileceğini ifade etmektedir. Grafik, hafif çelik malzemenin yükleme altında kararlı bir direnç sunduğunu, ancak deformasyonun artmasıyla yük taşımadaki rijitliğinin kademeli olarak azaldığını ortaya koymaktadır.



Görsel 6 Force Reaction/Deformation Grafiği

4.Sonuç

Bu çalışmada, hafif çelik yapıların sismik performansı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Analiz sürecinde, yapıya uygulanan dinamik yükler altında meydana gelen total deformation, directional deformation ve reaction force gibi temel parametreler incelenmiştir. Modal analizle yapının doğal frekansları belirlenmiş, ardından spektrum analizi ve statik yükleme adımları ile deprem etkileri simüle edilmiştir. Ayrıca, yapı üzerinde oluşan stabilite durumunu değerlendirmek amacıyla burkulma analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, hafif çelik malzemenin sismik yükler altındaki davranışını anlamaya yönelik önemli veriler sağlamış, bu sonuçlarla yapının elastik deformasyon sınırları ve yük taşıma kapasitesi değerlendirilmiştir.

Yapılan analizler, hafif çelik yapıların sismik performans açısından üstün özellikler sunduğunu ve özellikle deprem bölgelerinde güvenli yapı tasarımı için kritik bir seçenek olduğunu ortaya koymaktadır. Hafif çelik, yüksek mukavemet-ağırlık oranı ve enerji sönümleme kapasitesi sayesinde, depremin yapılar üzerindeki olumsuz etkilerini sönümleyerek binanın dayanıklılığını önemli ölçüde artırmaktadır. Mühendislik perspektifinden bakıldığında, bu malzeme, deprem yüklerini etkin bir şekilde taşıyabilmekte ve elastik sınırları içinde kalacak şekilde şekil değiştirme kapasitesi sunmaktadır.

Mimari açıdan ise hafif çelik, tasarımda esneklik sağlayarak estetik, işlevsel ve modüler çözümlerin hayata geçirilmesine olanak tanımaktadır. Özellikle modüler sistemlere olan uygunluğu, geniş açıklıkların desteklenmesi ve hızlı montaj avantajlarıyla hem modern tasarım anlayışına hem de pratik inşaat süreçlerine katkı sunmaktadır. Sonuç olarak, hafif çelik malzemenin kullanımının, deprem bölgelerindeki yapı güvenliği ve mimari esneklik arasındaki dengeyi sağlama noktasında önemli bir rol oynadığı söylenebilir. Bu bağlamda, hafif çelik yapıların daha yaygın ve optimize bir şekilde kullanımı, yapı güvenliğini artırma ve sürdürülebilir mimarlık hedeflerine ulaşma açısından büyük bir potansiyel taşımaktadır.

Kaynaklar

1. Aksoy, B., & Demirtaş, Y. (2017). Deprem Bölgelerinde Hafif Çelik Yapıların Ekonomik ve Yapısal Avantajları. *İnşaat Mühendisliği Dergisi*.
2. Battye, D. (2010). Yapıların Sismik Analizinde Sonlu Elemanlar Yöntemi. *Yapısal Mühendislik İncelemeleri*, 34(4), 42-56.
3. Kaya, F. (2019). Türkiye’de Deprem Güvenliği ve Hızlı Yeniden Yapılanma Çözümleri. *Deprem Mühendisliği ve Yapısal Dinamik*, 48(8), 1123-1136.
4. AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı). (2023). *2023 Kahramanmaraş Depremi Sonrası Değerlendirme Raporu*.
5. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. (2023). *Kahramanmaraş Depremi Teknik İnceleme Raporu*.
6. Türkiye Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018). *Türkiye'deki Yapılar İçin Sismik Tasarım Kriterleri*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
7. AFAD Sismik Tehlike Haritası. (2023). *Kahramanmaraş Bölgesi Sismik Risk Değerlendirmesi*. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD).

BİNALARDAKİ ISI YALITIMININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Tuğba CİĞAL

Bayburt Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü,
tugbacigal@bayburt.edu.tr - 0009-0009-8949-3473

Dr. Öğr. Üyesi Çağatay TEKE

Bayburt Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü,
cagatayteke@bayburt.edu.tr - 0000-0002-6975-8544

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, binalardaki ısı yalıtımının etkilerini ele alarak enerji tüketimini azaltmak ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemektir. Enerji verimliliği ekonomik ve çevresel faydaları nedeniyle hem bireysel hem de toplumsal düzeyde kritik bir öneme sahiptir. Isı yalıtımı, özellikle enerji kayıplarını minimize ederek binaların enerji performansını artırmakta ve enerji maliyetlerini de düşürmektedir. Bu kapsamda, bu çalışmada yapay sinir ağları (YSA) ve Matlab yazılımı kullanılarak çeşitli ısı yalıtım senaryoları oluşturularak analiz edilmiştir.

Yapılan analizlerle, farklı ısı yalıtım malzemelerinin performansları, ısı kaybını engelleme kapasiteleri ve enerji tasarrufundaki etkileri ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, uygun yalıtım malzemesi ve uygun yalıtım stratejilerinin seçilmesinin enerji tüketiminde %20 ila %40 oranında tasarruf sağladığını söylemek mümkündür. Ayrıca ısı yalıtımı uygulamaları fosil yakıt tüketimini azaltarak karbon emisyonlarının düşürülmesine katkıda bulunur ve çevreye duyarlı çözümler sunar.

YSA'nın sağladığı tahmin ve modelleme gibi yetenekler, bu alandaki analizleri daha doğru ve verimli hale getirmiştir. Çalışma kapsamında, Ecotect programıyla simüle edilen 12 farklı bina şeklinin enerji analizleri sonucunda elde edilen veriler kullanılmıştır. Veri setinde yer alan verilerin %70'i eğitim amacıyla kullanılırken %10'u ise doğrulama amaçlı kullanılmıştır. Geri kalan %20'lik kısım ise test aşamasında kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ısı yalıtımının sadece ekonomik bir seçenek değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da kritik bir çözüm olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, enerji verimliliğini artırmak için yapı sektöründe enerji tasarrufuna yönelik politikaların ısı yalıtımıyla desteklenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isı Yalıtımı, Enerji Verimliliği, Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Binaların enerji verimliliğini artırmak, enerji tüketimini azaltmak ve çevresel etkileri en aza indirmek, küresel enerji politikalarının odak noktalarındandır. Bu bağlamda, ısı yalıtımının binalarda enerji tasarrufuna olan katkıları üzerine yapılan çalışmalar, hem akademik hem de endüstriyel düzeyde büyük önem taşımaktadır (Çomaklı & Yüksel, 2004).

Literatür incelendiğinde çeşitli ısı yalıtım malzemelerinin etkinliği üzerine yapılan çok sayıda çalışma, yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliği, yoğunluğu, kalınlığı gibi parametrelerin performans üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu çalışmalar, bina enerji verimliliğini artıran en uygun malzeme seçiminin yapılmasına olanak sağlamıştır. Özellikle polistiren, cam yünü ve taş yünü gibi yaygın malzemeler üzerinde yapılan analizler, bu malzemelerin ısı geçişi üzerinde sağladığı düşüşü göstermektedir. Yapılan araştırmalar, binalarda doğru bir ısı yalıtımının enerji tüketimini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Özellikle eski binalarda, yetersiz yalıtım nedeniyle ısıtma ve soğutma sistemlerinin çok daha fazla enerji harcadığı tespit edilmiştir. (Çomaklı & Yüksel, 2004).

Yapılan çalışmalardan yola çıkarak yalıtımsız ya da düşük yalıtımlı dış duvarların binalardaki en büyük ısı kaybı kaynağı olduğunu görmek mümkündür. Duvarlara 5-10 cm kalınlığında bir ısı yalıtımı uygulanarak ısı kayıplarının %30-40 azaltılabildiği ortaya konmuştur. Bununla birlikte, tek camlı ya da düşük yalıtımlı pencerelerin iç mekândaki ısının dışarı kaçmasına neden olduğu anlaşılmıştır. Pencerelerin çift camlı ve argon gazı dolgulu hale getirilmesinin ısı kaybını %50'ye kadar azaltılabildiği ortaya konmuştur. Ayrıca yalıtımsız çatıların ısının doğrudan dış ortama kaçmasına neden olduğu çatı yalıtımıyla binalardaki toplam enerji kaybının %20-30 oranında azaltılabildiği yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (Çomaklı & Yüksel, 2004). Zemin yalıtımı eksikliği, özellikle toprakla temas eden zeminlerin ciddi ısı kayıplarına yol açtığı tespit edilmiştir. Yapılan zemin yalıtımının, bu alandaki ısı kaybını %50'ye kadar azaltılabildiğini yapılan çalışmalarda görmek mümkündür. Bu tür tedbirlerle ısı kayıplarının %50'den fazla azaltılabileceği görülmektedir, böylelikle alınacak tedbirler hem ekonomik açıdan hem de çevresel etkilerin azaltılması açısından büyük bir öneme sahiptir (Kisilewicz vd., 2019).

Tüm bu yöntemlerin dışında binalarda enerji verimliliği sağlamak için geliştirilen optimizasyon modelleri, ısı yalıtımını içeren çeşitli parametreleri (malzeme türü, kalınlık, vb.) analiz ederek en verimli yapılandırmayı belirlemektedir. Bu modellerde genellikle matematiksel formüller ve simülasyon yazılımları kullanılarak en düşük enerji tüketimini sağlayan yapı çözümleri ortaya konmuştur. Yapay sinir ağları, enerji verimliliği alanında, özellikle binalarda kullanılan enerji verimliliği önlemlerinin optimizasyonu için kullanılmaktadır. YSA, çok büyük veri kümelerini işleyebilme yeteneği ve karmaşık ilişkileri modelleyebilmesi sayesinde, binadaki enerji kayıplarını azaltma ve verimli ısı yalıtım malzemelerini seçme süreçlerinde etkili bir araçtır (Ertosun Yıldız vd., 2021). YSA'nın enerji verimliliği sağlamak amacıyla bina ısıtma ve soğutma süreçlerini optimize etmekteki kullanımı çeşitli çalışmalarla ele alınmıştır. Bu kapsamda, YSA ile enerji tüketimini optimize etmek amacıyla, yalıtım malzemelerinin türü ve

kalınlıkları gibi parametrelerin etkisi yapılan uygulamalarla modellenmiştir. Ayrıca YSA'nın enerji verimliliği uygulamalarında nasıl etkili bir araç olduğu yine bu çalışmalar sayesinde ortaya konmuştur (Ertosun Yıldız vd., 2021; Tekkanat & Topaloglu, 2017; Tosun & Dincer, 2011).

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Simülasyon Modellemesi

Bu aşama, binanın ısı kayıplarını simüle ederek, kullanılan malzemelerin ve yapı özelliklerinin enerji verimliliği üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlar. Ecotect yazılımı, enerji simülasyonları için oldukça güçlü bir araçtır ve bina içindeki enerji tüketimi, ısı kayıpları gibi parametreleri analiz etme olanağı sağlar (Yang vd., 2014).

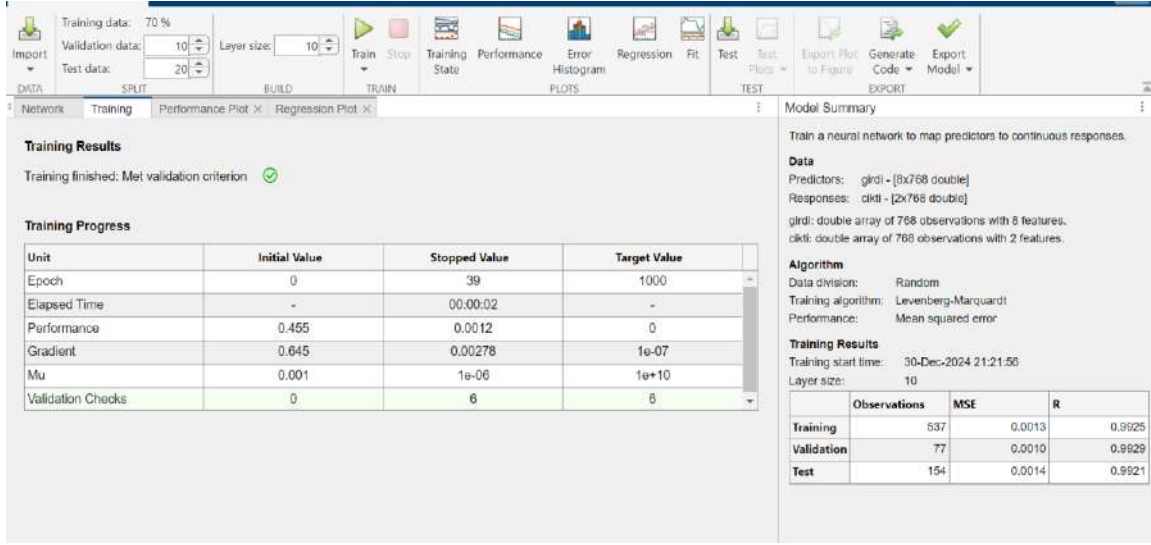
Tsanas & Xifara (2012), Ecotect'te simüle edilen 12 farklı bina şeklini kullanarak enerji analizi gerçekleştirmiştir. Binalar, diğer parametrelerin yanı sıra cam alanı, cam alanı dağılımı ve yönelim açısından farklılık göstermektedir. Yukarıda bahsedilen özelliklerin fonksiyonları olarak çeşitli ayarlar simüle edilmiş ve 768 bina şekli elde edilmiştir. Veri kümesi, toplam 768 veriden oluşmaktadır ve 8 özellik ve iki hedef değişkeni bünyesinde barındırmaktadır. Bunlar sırasıyla, bağıl kompaktlık, yüzey alanı, duvar alanı, çatı alanı, toplam yükseklik, yönlendirme, cam alanı, cam alanı dağılımı, ısıtma yükü ve soğutma yüküdür. Bu çalışmada, burada bahsi geçen veriler kullanılmıştır.

2.2. YSA

YSA, insan beynindeki biyolojik sinir ağlarının yapısından ve işlevinden esinlenen matematiksel modellerdir (Qamar & Zardari, 2023; Rosa, 2013). Çarpma, toplama ve aktivasyon fonksiyonları aracılığıyla bilgiyi işleyen basit 'nöron benzeri' düğümlerin birbirine bağlı katmanlarından oluşurlar (Krenker vd., 2011; Willis vd., 1991). Simülasyon verileri YSA kullanılarak analiz edilmiş, enerji verimliliğini artırmak için en uygun ısı yalıtım çözümleri belirlenmeye çalışılmıştır. Oluşturulan YSA, binanın enerji verimliliği üzerinde en iyi etkiye sahip parametre kombinasyonlarını belirlemek için eğitilmiştir. YSA'nın girdi katmanında sekiz nöron çıktı katmanında ise iki nöron bulunmaktadır.

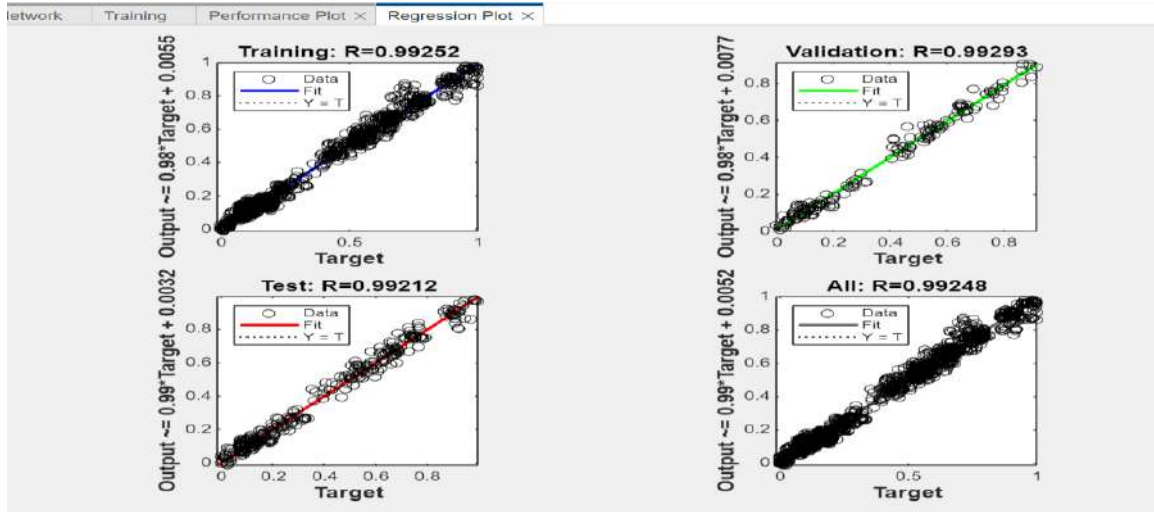
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında oluşturulan YSA'nın eğitim, doğrulama ve test sürecine dair bulgular Görsel 1, Görsel 2 ve Görsel 3 de yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar ışığında modelin yüksek doğruluk oranlarına sahip olduğunu ve genelleme yeteneğinin güçlü olduğunu söylemek mümkündür. Eğitim, doğrulama ve test setlerinde elde edilen ortalama karesel hata (MSE) değerlerinin düşük olması bize modelin aşırı öğrenme sorunu yaşamadığını ayrıca tahmin gücünün yüksek olduğunu kanıtlamaktadır.



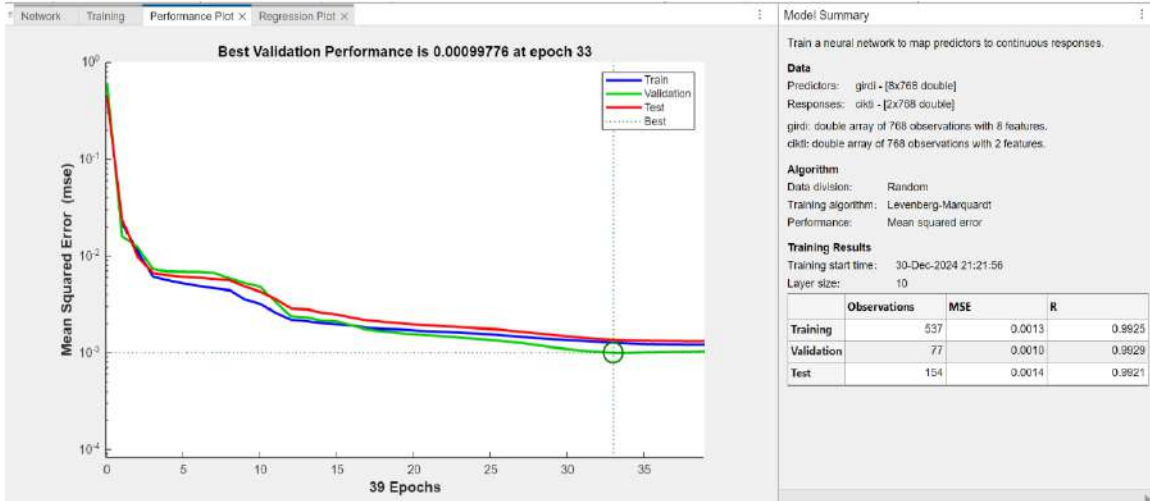
Görsel 1. YSA'nın Eğitim Sürecine İlişkin Sonuçlar

Görsel 1 incelendiğinde yapılan eğitimin doğrulama kriterine ulaştığı için başarıyla tamamlanmış olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca, elde edilen sonuçlar, modelin hem eğitim hem de test sırasında iyi bir genelleme performansı sergilediğini göstermektedir.



Görsel 2. Eğitim, Doğrulama, Test ve Genel Performans

Görsel 2 incelendiğinde modelin eğitim, doğrulama, test ve genel (tüm veri) performansını görmek mümkündür. Her bir grafikte, tahmin edilen değerler (Output) ile gerçek hedef değerler (Target) arasındaki ilişki doğrusal olarak çizilmiştir. Eğitim aşamasında elde edilen R değeri (korelasyon katsayısı) modelin, eğitim verisi üzerinde oldukça yüksek bir doğruluk sağladığını göstermektedir. Doğrulama aşaması için R değeri modelin, doğrulama veri setinde de benzer bir performans sağladığını belirtir. Test aşamasında elde edilen R değeri ile test verisi üzerinde modelin yine yüksek performans gösterdiği görülmektedir. Tüm veri için R değeri ise eğitim, doğrulama ve test verilerinin birleştirilmiş performansını göstermektedir.



Görsel 3. Performans Grafiği

Görsel 3 incelendiğinde en iyi doğrulama performansının 33. adımda elde edildiği görülmektedir. Doğrulama ve test eğrilerinin eğitim eğrisine yakın olması, modelin genelleme yeteneğinin iyi olduğunu göstermektedir. Veri ayrımı ve algoritma ile ilgili bilgileri de görselden elde etmek mümkündür. Uygulama verisi, rastgele şekilde eğitim (%70), doğrulama (%10), ve test (%20) olarak ayrılmıştır. Eğitim algoritması olarak Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır. Performans kriteri ise MSE'dir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, YSA kullanılarak, binalarda uygulanan ısı yalıtımının enerji verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda yapılan modelleme ve analizler göstermiştir ki ısı yalıtım uygulamaları binalardaki enerji tüketimini %20 ila %50 oranında azaltmaktadır. Bu sayede, fosil yakıt tüketiminin azaltılmasına katkı sağlanması ve çevre dostu bir enerji tüketimi modeli oluşturulması hedeflenmektedir.

YSA'nın enerji verimliliği ve ısı yalıtımı üzerine yapılan optimizasyon çalışmalarında kullanılabilmesi, onu bu alanda güçlü bir araç olarak öne çıkarmıştır. Oluşturulan YSA modelinin eğitim, doğrulama ve test aşamalarında elde edilen düşük hata oranları ve yüksek doğruluk değerleri, modelin genelleme yeteneğinin güçlü olduğunu ve bununla birlikte yüksek güvenilirlik sağladığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, YSA'nın bina enerji performansı analizlerinde etkili bir yöntem olduğunu kanıtlamaktadır.

KAYNAKÇA

Çomaklı, K., & Yüksel, B. (2004). Environmental impact of thermal insulation thickness in buildings. *Applied Thermal Engineering*, 24(5), 933-940.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2003.10.020>

Ertosun Yıldız, M., Beyhan, F., & Uçar, M. K. (2021). Enerji Verimli Bina Tasarımı için Yapay Sinir Ağları ile Isıtma Soğutma Yükünün Belirlenmesi. *Academic Perspective Procedia*, 4, 91-100. <https://doi.org/10.33793/acperpro.04.01.17>

Garcia Rosa, J. L. (2013). Biologically Plausible Artificial Neural Networks. *Institute for new technologies*.

Kisilewicz, T., Fedorczak-Cisak, M., & Barkanyi, T. (2019). Active thermal insulation as an element limiting heat loss through external walls. *Energy and Buildings*, 205, 109541. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109541>

Krenker, A., Bester, J., & Kos, A. (2011). Introduction to the Artificial Neural Networks. *Institute for new technologies*.

Qamar, R., & Ali Zardari, B. (2023). Artificial Neural Networks: An Overview. *Mesopotamian Journal of Computer Science*, 2023, 124–133. <https://doi.org/10.58496/MJCSC/2023/015>

Tekkanat, E., & Topaloglu, M. (2017). Detection of heat abduction on the walls by artificial neural network and selection of materials with decision support system. *Sakarya University Journal of Science*, 2. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.309565>

Tosun, M., & Dincer, K. (2011). Modelling of a thermal insulation system based on the coldest temperature conditions by using artificial neural networks to determine performance of building for wall types in Turkey. *International Journal of Refrigeration*, 34(1), 362-373. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2010.08.001>

Tsanas, A., & Xifara, A. (2012). Accurate quantitative estimation of energy performance of residential buildings using statistical machine learning tools. *Energy and Buildings*, 49, 560-567. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.003>

Tsanas, A., & Xifara, A. (2012). UCI Machine Learning Repository: Energy Efficiency Data Set. <https://doi.org/10.24432/C51307>

Willis, M. J., Di Massimo, C., Montague, G. A., Tham, M. T. & Morris, A. J. (1991). Artificial neural networks in process engineering. *IEE Proceedings D Control Theory and Applications*, 138(3), 256. <https://doi.org/10.1049/ip-d.1991.0036>

Yang, L., He, B.-J., & Ye, M. (2014). Application research of ECOTECT in residential estate planning. *Energy and Buildings*, 72, 195-202. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.040>

AR-GE PROJELERİNİN DEĞERLENDİRME KRİTERLERİNİN BULANIK AHP YÖNTEMİYLE TESPİTEDİLMESİ: İKLİMLENDİRME FİRMASI ÖRNEĞİ

Doç. Dr. Ayten YILMAZ YALÇINER

Sakarya Üniversitesi

ayteny@sakarya.edu.tr - 0000-0001-8160-812X

End. Müh. Öykü SEVİM

Daikin

oyku.sevim1@sakarya.edu.tr – 0009-0003-8061-3287

ÖZET

İşletmeler için Ar-Ge çalışmaları gerçekleştirmek yıkıcı rekabet koşullarında oldukça kritik bir faaliyettir. Ar-Ge merkezi olan yada olması için altyapı çalışmaları gerçekleştiren işletmeler yenilikçi katma değerler yaratabilmek için ar-ge projelerine çok önem vermek durumundadırlar.

Bu çalışma ısıtma ve soğutma sistemleri üzerine çalışan bir firmanın AR-GE departmanında gerçekleştirilmiştir. İşletmede AR-GE merkezi bulunmakta olup, birimde düzenli ve sürekli olarak AR-GE projeleri gerçekleştirilmektedir. Mevcut durumda firmanın günümüz teknolojisine uygun yeni bir proje seçimi için teknolojik, inovatif ve sürdürülebilir proje kriterlerinin belirlenmesini ve bu kriterlerin uygun kategorize edilip standartlaştırılması sağlayacak bir sistem yoktur ve standartlaştırılmış öncelik kriterleri bulunmamaktadır. Bu durum da her bir proje seçiminde zaman kaybına ve iş yüküne neden olmaktadır. Çalışmada firmanın ARGE departmanında gerçekleştirilen projelerin seçim kriterlerinin belirlenmesi için uzman görüşü alınmış, bu görüşler literatürden elde edilen kriterlerle entegre edilmiş ve proje seçim kriterleri elde edilmiştir. Bu kriterler Bulanık AHP(BAHP) yöntemiyle ağırlıklandırılmıştır.

Çalışma ile, iklimlendirme sektöründe öncü olmuş bir işletmede kritik olan AR-GE projelerinin hayata geçme sürecinde standart oluşturmak için bir metodoloji geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ar-Ge, Proje Değerlendirme, Bulanık AHP

1. GİRİŞ

Projeler insan, kurum veya kuruluşların ihtiyaçları, bilim ve teknikteki gelişmeler, mevcut dönemin ihtiyaçları, yasal mevzuatlar sonucunda ortaya çıkmaktadır. İşletmeler kaynaklarını; maksimum verim, en düşük maliyet ve kaliteden ödün vermeyerek kullanmak istemektedirler. Bu durum işletmeler arasında “rekabet” kavramının oluşmasına neden olmaktadır.

Günümüzün yoğun rekabet ortamında işletmelerin gelişmelerini sürdürmesi ve varlıklarını devam ettirebilmesi için rekabet stratejilerini etkili bir şekilde uygulamalarının yanı sıra sürekli yenilik yapmaları ve kendilerini geliştirmeleri gerekmektedir. İşletmeler, karlıklarını ve pazar paylarını artırmak ve hızlı değişimlere uyum sağlamak için mevcut üretim süreçlerindeki sorunları çözenin ötesinde, yeni üretim yöntemleri ve ürünler geliştirmek, aynı zamanda mevcut ürünleri ve üretim süreçlerini iyileştirmek amacıyla Ar-Ge faaliyetlerine yönelmek zorundadır. (Kazan, 2020)

Ar-Ge, işletmelerde yeni ürünlerin ve üretim süreçlerinin ortaya çıkmasını sağlayan sistematik ve yenilikçi çalışmalardır. İşletmelerdeki Ar-Ge birimleri, teknoloji düzeyinin ilerlemesine katkı sağlayacak yeni bilgiler edinmek ya da mevcut bilgilere yenilerini eklemek için; ürün ve araçlar geliştirmek, yazılım üretimi de dahil olmak üzere yeni sistemler, süreçler ve hizmetler tasarlamak veya mevcut olanları iyileştirmek amacıyla faaliyet gösteren bölümlerdir.

Ar-Ge, OECD tarafından, “bilgi kapasitesini genişletmek için yaratıcı çalışma ve bu bilginin yeni uygulamalar yaratmak için kullanılması” olarak tanımlanmıştır. Ürün kalitesinin artırılması, yeni teknolojilerin ürünlerde ve hizmetlerde kullanılması, standardı yükseltip maliyeti düşürerek yeni teknikler geliştirilmesidir. (OECD, 2008)

Frascati Kılavuzu'na göre Ar-Ge, "bilgi birikimini artırmak ve bu bilgiyi yeni uygulamalar geliştirmek için sistematik olarak yürütülen yaratıcı çalışmalardır" şeklinde tanımlanabilir.

1.1.AR-GE Projelerinin İşletmeler için Önemi

Her sektörde teknolojinin gelişmesiyle birlikte işletmeler arasındaki rekabet artmaktadır. Dünyadaki teknik bilgi düzeyi sürekli olarak gelişmektedir ve bu durum da üretime yansımaktadır. İşletmeler sürekli olarak teknolojiyi ve yenilikleri takip etmek zorundadır. (Kaya, 1997). İşletmelerde bu kapsamda yenilikçi ve katma değeri yüksek projeler gerçekleştirmek kritik bir öneme sahiptir.

İşletmelerin amaçlarına uygun teknolojinin geliştirilmesi için Ar-Ge projelerinin hayata geçirilmesi sürecinde, önem seviyelerine göre öncelik kriterlerinin doğru belirlenmesi ve bu kriterlerin uygun değerlendirilmesi gerekir. (Sarı, 2017) Ar-Ge projelerinin teknolojik, inovatif ve yenilik yönünden kriterlendirilmesi, projenin Ar-Ge niteliği taşıyıp taşıyamaması ve bu niteliğin derecelendirilmesi açısından önemlidir.

Projelerin doğru seçilmesi kadar projenin uygulanacağı kişi portföyü, dönemin özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Doğru seçilen Ar-Ge projeleri işletmelerin gelişmesine katkı sağlamaktadır. (Kaya, 1997)

1.2.Çok Kriterli Karar Verme

Çok kriterli karar verme herhangi bir teknik veya algoritma tarafından yürütülme-yen insana özgü bir karar verme yöntemidir. (Cengiz, 2012) Aynı anda hem ölçülebilen hem ölçülemeyen kriterleri aynı anda değerlendirme fırsatı sunmaktadır. (Lezki, 2014)

Farklı değerlendirme noktalarına sahip birçok çok kriterli karar verme yöntemi vardır. Literatür incelendiğinde seçim problemlerinde en çok kullanılan ÇKKV yöntemi AHP'dir. Çalışmanın konusu olan proje seçiminde kriterlerin önceliklendirilmesi, probleminde kriterlerin birbirine olan benzerliği ve sezgisel olarak seçiminin zor olması nedeniyle kriterlerin ağırlıklandırılmasının daha anlamlı olması için Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Literatür araştırması sonucunda proje seçimlerinde en çok kullanılan ÇKKV yöntemleri Tablo 1'de verilmiştir. (Cengiz, 2012)

Yazarlar	Proje Konusu	Yöntem
Poh, Ang & Bai (2001)	AR-GE	AHP ve Karşılaştırmalı Analiz
Chou & Tzeng (2006)	Bilişim	Bulanık AHP
Carlsson, Fuller, Heakila & Majendar (2006)	AR-GE proje portföyü	Bulanık Karma Tam Sayılı Programlama
Wang & Hwang (2007)	AR-GE proje portföyü	Bulanık Bütünleşik Tam Sayılı Programlama
Tolga (2008)	AR-GE	Bulanık Topsis
Tolga ve Kahraman (2009)	AR-GE	Bulanık AHP
Yakıcı ve Perçin (2012)	AR-GE	Bulanık Topsis

Çizelge 1: Literatürde Proje Seçiminde Kullanılan ÇKKV Yöntemleri (Cengiz,2012)

1.3.Bulanık AHP Metodu

Bulanık Mantık Zadeh tarafından 1965 yılında yayınladığı Bulanık Kümeler makalesi ile ortaya çıkmıştır. Bu makalede gerçek hayattaki nesnelere ilişkin ilişkilerinin tam olarak tanımlanmadığından ve ilişkilerin ikili mantık sistemiyle açıklanmasının yetersiz kaldığından bahsedilmektedir.

Farklı cinslerdeki ifadelerin belirsizliklerini matematiksel olarak tanımlanmasını sağlamaktadır.

Bulanık mantık, bulanık sayıların oluşturduğu bir kümeyle matematikselleştirilir. Bulanık küme, klasik kümenin ifade ettiği 1 veya 0 değerlerini de kapsamaktadır ancak bulanık küme daha da genişletilmiş halidir. Bulanık kümelerin amacı net olmayan verilerin mantığa dayalı önermelerle ifade edilmesidir.

Proje kriterlerinin belirlenmesi ve bu kriterlerin önceliklendirilmesi probleminde klasik yargılarla ifade edilmesi günümüz teknolojisi ve yaşamı için uygun değildir. AHP yöntemi her ne kadar tutarlı yapılmış olsa dahi kesin yargıları dikkate almakta ve kesin olmayanları dikkate almamaktadır. Oysaki proje kriterlerinin belirlenmesi ve bu kriterlerin doğru bir şekilde önceliklendirilmesi için daha geniş bir kümeye ihtiyaç duyulmaktadır. O yüzden bu çalışmada Bulanık AHP metoduyla kriterler önceliklendirilmiştir.

Bulanık AHP ilk olarak 1983 yılında yapılmıştır. Bu çalışmada Bulanık Ahp metodunun uygulanması için üçgensel sayılar kullanılmıştır. Böylece daha esnek ve geniş kapsamlı kararlar alınabilmektedir. (Uçak, 2021)

1.3.1. Bulanık AHP Uygulama Adımları

1.Aşama: Problemin Tanımlanması

Karar mekanizmasını yürütecek uzman ekibi oluşturulur ve bu ekip problemi tartışarak detaylı bir şekilde açıklar.

2.Aşama: Kriterlerin Tanımlanması

Ana kriterler ve alt kriterler belirlenir. Böylece hiyerarşik bir yapı oluşturulmuş olur.

3.Aşama: Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Kriterlerin ağırlıklandırılması için ikili karşılaştırma matrisleri düzenlenir.

4.Aşama: Bulanıklaştırma

Oluşturulan matrisler bulanık sayılara dönüştürülür. Bu dönüşüm gerçekleştirilirken Çizelge 2’den yararlanılır.

	AHP	Bulanık AHP	
	ÖLÇEK	ÖLÇEK	KARŞILIK
Eşit Derecede Önemli	1	(1,1,1)	(1,1,1)
Biraz Önemli	3	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)
Önemli	5	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)
Çok Önemli	7	(6,7,8)	(1/8,1/7,1/6)
Kesinlikle Önemli	9	(9,9,9)	(1/9,1/9,1/9)
Ara Değerler	2	(1,2,3)	(1/3,1/2,1)
	4	(3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)
	6	(5,6,7)	(1/7,1/6,1/5)
	8	(7,8,9)	(1/9,1/8,1/7)

Çizelge 2: AHP ve Bulanık AHP Değerleri (Akyurt, 2021)

5. Aşama: Bulanıklık Değeri

Karşılaştırma matrislerinin bulanıklaştırılması sonucunda i. nesne için bulanıklık değeri hesaplanır.

5.1. Ölçüt i'ye göre “bulanık sentetik mertebe” değeri:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j + [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1}$$

Denklem 1: Bulanık sentetik mertebe değeri şeklinde hesaplanır

S_i = i. amacın sentez değeri

$M_{g_i}^j$ = her bir amaca yönelik genişletilmiş değerdir.

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i} , \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i} , \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i}$$

Denklem 2: Bulanıklık değeri

5.2. $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ifadesinin olabilirlik derecesi:

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1 & m_2 \geq m_1 \\ 0 & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{diğer,} \end{cases}$$

Denklem 3: Olabilirlik derecesi

5.3. İlk satır değerleriyle karşılaştırılır. Bu karşılaştırmalar sonucunda ortaya çıkan değer en küçüğü alınır. Diğer satırlara da aynı işlemler uygulanır.

5.4. Ağırlık vektörü için normalizasyon işlemi yapılır. (Altınkaya, 2021)

2.UYGULAMA

2.1. Problemin Tanımı

Isıtma-soğutma sistemleri üzerine çalışan bir firmanın AR-GE projelerinin karakteristik özellikleri sadece uzman görüşüne dayanılarak yapılmaktadır ve projelerin hayata geçirilme sürecinde bir önceliklendirme ya da kriter esaslı bir değerlendirme sistemi bulunmamaktadır. Bu durum her proje başlangıcında geçmiş verilerin incelenmesine neden olup zaman kaybına ve iş yüküne neden olmaktadır. Aynı zamanda projelerin karakteristik özelliklerinin atamasının bir standardı olmadığı için uzman kişinin inisiyatifine kalmaktadır.

Buradaki problem firmanın teknolojik, inovatif ve sürdürülebilir proje kriterlerinin belirlenmesini ve bu kriterlerin uygun kategorize edilip standartlaştırılması sağlayacak bir sistemin olmamasıdır.

2.2. ARGE Projelerinin Kriterlerinin Belirlenmesi

Proje kriterleri belirlenirken AR-GE departmanındaki mühendis ve yöneticilerin görüşü ve literatürdeki benzer çalışmalar dikkate alınarak Çizelge 3'teki proje kriterleri belirlenmiştir.

ANA KRİTERLER	ALT KRİTERLER-1	ALT KRİTERLER-2	KAYNAKÇA	TANIM
Projenin ARGE Düzeyi, Teknolojik Düzeyi, Yenilikçi Yönü	Yenilikçilik	Yenilik Yönü	(Lee, Cho, Choi, & Yoon, 2017)	K1
		Yaratıcı Yönü		K2
		Fayda Yönü		K3
	Sürdürülebilirlik	Benzersiz Olması	(Kas Bayrakdaroğlu & Kundakçı, 2019)	K4
		Yaşam Döngüsü Olması		K5
	Ar-Ge Yetenekleri	Zorluk Yönü	(Lee, Cho, Choi, & Yoon, 2017)	K6
		Risk Yönü		K7
		Uygulama Alanı		K8
Projenin İnovatif Yönü	Ar-Ge Niteliği	Yeni Yöntem İçermesi	(Huang, Chu, & Chiang, 2008)	K9
		Dışa Bağımlı Olması		K10

Çizelge 3: Değerlendirilecek Kriterler

Kriterlerin detaylı açıklamaları ve kapsamı belirlenmiştir.

Projenin ARGE Düzeyi, Teknolojik Düzeyi, Yenilikçi Yönü: Bir projenin yenilikçi olmasını sağlayan teknoloji düzeyi ve bu projenin AR-GE niteliğine uygun olarak sürdürülebilir olmasını inceleyen kriterdir.

Yenilikçilik: Projelerin yenilik, yaratıcılık ve fayda kriterlerini kapsar. Bir proje yeni olmasının yanı sıra yaratıcı ve firmaya, çevreye faydalı bir projeyse yenilikçilik içeren bir projedir.

- **Yenilik Yönü:** Projede kullanılacak teknolojinin yeniliğini ve bu teknolojinin daha önce var olup olmadığını gösteren kriterdir.
- **Yaratıcı Yönü:** Projede kullanılacak teknolojinin mevcut rekabet teknolojisine üstünlüğü, yaratıcı olma durumunu belirten kriterdir.
- **Fayda Yönü:** Projede kullanılacak teknolojinin sağladığı fayda, tanımlanabilir faydalar ve endüstride kullanım kabiliyetini belirtir. İnsanlığa, çevreye ve gerçekleştirilen işletmeye sağladığı katkıları belirten kriterdir.

Sürdürülebilirlik: Projenin belirli bir zaman sınıрыyla karşılaşmaksızın başlangıç ve bitiş tarihleri dışında da işletmeye katkısının olmasıdır.

- **Benzersiz Olması:** Projelerin amacı benzersiz olmaktır. İşletmeler sürdürülebilirliklerini sağlamak için teknolojiye ayak uydurup farklı ve güncel konulu projelere yönelmelidir. Projede kullanılacak teknoloji için fikri mülkiyet haklarını elde etme olanaklarını belirten kriterdir.
- **Yaşam Döngüsü Olması:** Teknolojinin hayat döngüsü (TLC) olarak tanımlanabilir. Bu kavram ürün hayat döngüsünden model alınarak oluşturulan bir kavramdır. Teknoloji hayat döngüsü bir teknolojinin var olmasından itibaren bitişine kadarki tüm evreleri kapsayan bir yaşam döngüsüdür.

Ar-Ge Yetenekleri: Bir projenin başka projelerin süreçlerine etkisi, projelerle ilişkisi ve proje meydana gelirken oluşan zorluk ve risk faktörleridir.

- **Zorluk Yönü:** Projede uygulanacak teknolojinin getirdiği ve geliştirilmesi durumunda getireceği zor durumları belirten kriterdir.
- **Risk Yönü:** Projenin uygulanması durumunda beraberinde getireceği risk durumlarıdır. Bu riskler projenin teknik, gelişiminden doğan ve ticari riskler olabilir. Bu faktörleri belirten kriter grubudur.
- **Uygulama Alanı:** Önerilen teknolojinin uygulanabileceği ürün veya hizmet yelpazesi, büyüme potansiyeli, diğer ürün / süreçlerle sinerjisini belirten kriterdir.

Projenin İnovatif Yönü: Projenin meydana gelirken yeni yöntemleri ve fikirleri içinde bulundurması, bu fikirlerin gerçekleştirilmesi için gereken dışa bağımlılık düzeyini belirleyen kriter seviyesidir.

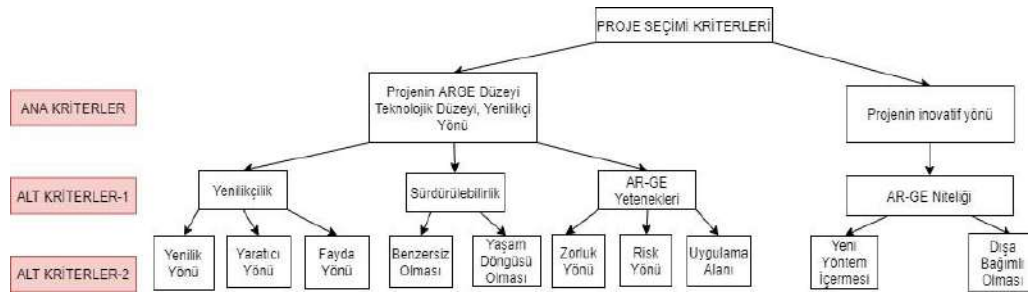
Ar-Ge Niteliği: Proje uygulanırken yeni yöntemlerin kullanılması ve bu yöntemler kullanılırken firmanın dışa bağımlılığını ölçen kriterdir.

- **Yeni Yöntem İçermesi:** Projede daha önce kullanılmayan yöntemlerin mevcut olmasıdır.
- **Dışa Bağımlı Olması:** Projenin uygulanması durumunda firma dışından bir desteğin alınması kriteridir.

2.3. Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Literatür taramasının sonucunda projelerin kriterlerinin ağırlıklandırılması için çok kriterli karar verme yöntemi olan Bulanık AHP metodu kullanılmıştır. Bu metodun kullanılmasının nedeni kriterlerin ağırlıklandırılması probleminde, problemin klasik yargılarla ifade edilmesi günümüz teknolojisi ve yaşamı için uygun olmamasıdır. AHP yöntemi her ne kadar tutarlı yapılmış olsa dahi kesin yargıları dikkate almakta ve kesin olmayanları dikkate almamaktadır. Oysaki proje kriterlerinin belirlenmesi ve bu kriterlerin doğru bir şekilde önceliklendirilmesi için daha geniş bir kümeye ihtiyaç duyulmaktadır. O yüzden bu çalışmada Bulanık AHP metoduyla kriterler önceliklendirilmiştir.

Kriterlerin hiyerarşik yapısına göre sırasıyla Bulanık AHP işlemi uygulanacaktır.



Şekil 5: Proje seçim kriterleri hiyerarşik yapısı

2.3.1. Bulanık AHP Uygulanması

Kriterlerin ağırlıklandırılması için firmanın AR-GE departmanındaki birbirinden farklı görevlere ve deneyimlere sahip 4 mühendise anket çalışması yapılmıştır.

Çözüm aşamalarının gözlenebilmesi için örnek olarak yenilikçilik kriterinin alt kriterleri olan yenilik yönü, yaratıcılık yönü ve fayda yönü kriterlerinin değerlendirilmesi üzerinden işlemler yapılmıştır. Diğer kriterler için de aynı işlemler, tüm personeller için tekrarlanmıştır.

1.personel

AR-GE çalışma deneyimi: 3 yıl

- Anket çalışmasında verilen cevaplar ikili karşılaştırma matrislerine dönüştürülmüştür.

	Yenilik Yönü	Yaratıcı Yönü	Fayda Yönü
Yenilik Yönü		1	5
Yaratıcı Yönü	1		5
Fayda Yönü	0,2	0,2	

Çizelge 4: Yenilikçilik kriteri ikili karşılaştırma matrisi

- İkili karşılaştırma matrisleri ölçeğe göre bulanıklaştırılır.

	Yenilik Yönü			Yaratıcı Yönü			Fayda Yönü		
Yenilik Yönü	1	1	1	1	1	1	4	5	6
Yaratıcı Yönü	1	1	1	1	1	1	4	5	6
Fayda Yönü	1/6	1/5	1/4	1/6	1/5	1/4	1	1	1

Çizelge 5: Yenilikçilik kriteri bulanık ikili karşılaştırma matrisi

- Kriterlerin Sentetik Mertebe Değerleri ve Olabilirlik Dereceleri

	(l, m, u)
S1	(0,39, 0,45, 0,52)
S2	(0,39, 0,45, 0,52)
S3	(0,08, 0,09, 0,11)

Çizelge 6: Sentetik ikili karşılaştırma matrisi

Kriterlerin olabilirlik dereceleri de karşılaştırılarak normalizasyon işlemi uygulanır.

➤ Sonuç

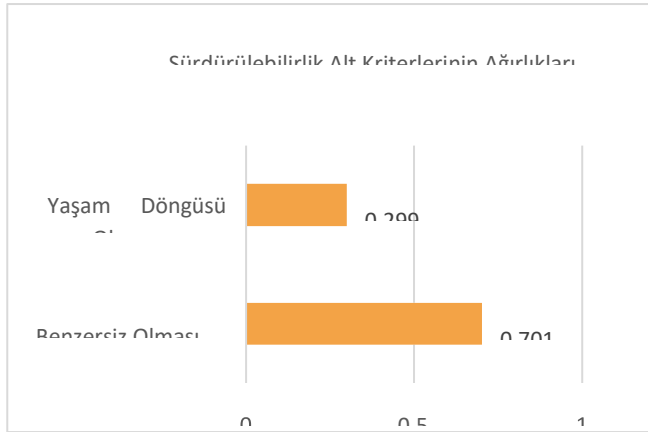
1. personele göre yenilikçilik kriterinin alt kriterleri yenilik yönü, yaratıcı yönü ve fayda yönü için ağırlıklar aşağıdaki gibidir.

	Ağırlıklar
Yenilik Yönü	0,5
Yaratıcı Yönü	0,5
Fayda Yönü	0

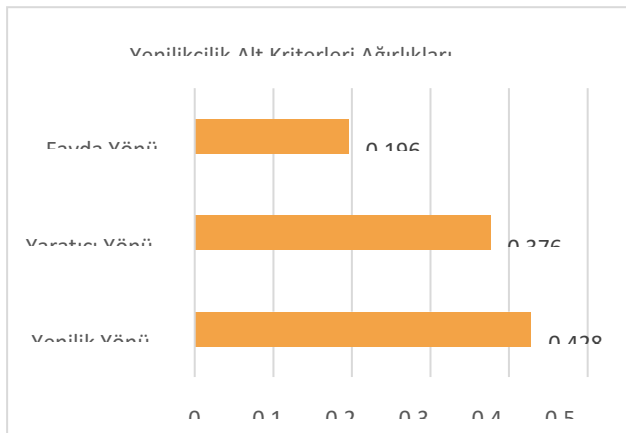
Çizelge 7: Yenilikçi kriterinin alt kriterlerinin ağırlık

3. SONUÇLAR VE GENEL DEĞERLENDİRME

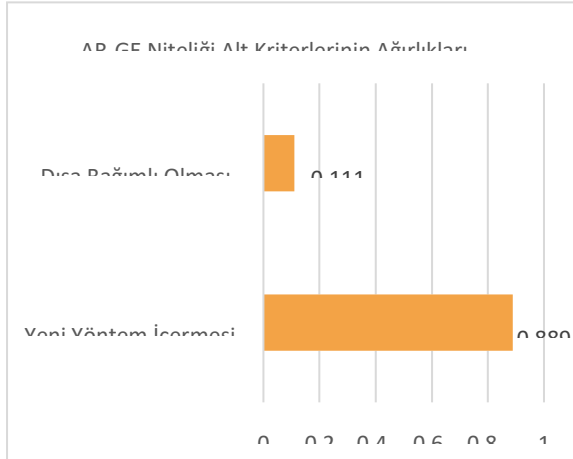
Çalışanların tamamına tüm kriterler için anket çalışması uygulanmıştır. Sonuçları BAHP ile hesaplanmıştır. Sonrasında ise kişilerin çalışma yıllarına göre ağırlıklandırılmıştır. Sonuçlar şu şekildedir:



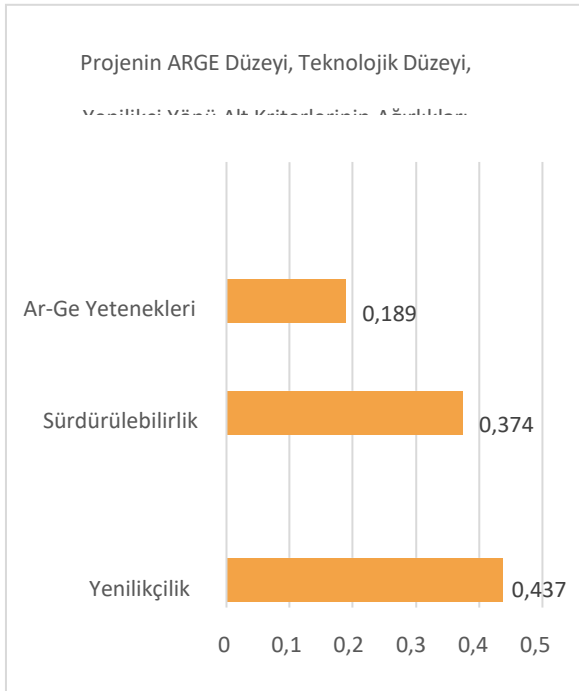
Şekil 6: Sürdürülebilirlik alt kriterlerinin ağırlıkları



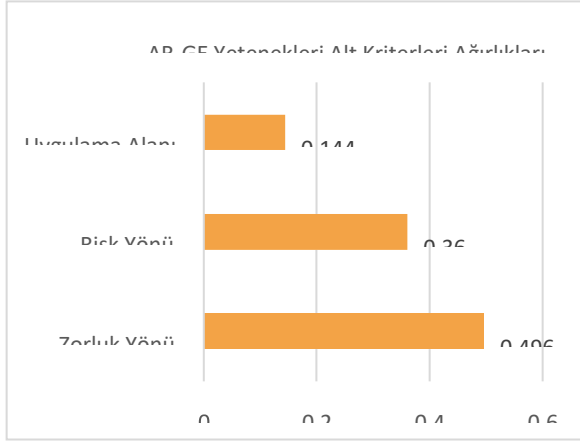
Şekil 7: Yenilikçilik alt kriterleri ağırlıklar



Şekil 8: AR-GE Niteliği alt kriterlerinin ağırlıkları



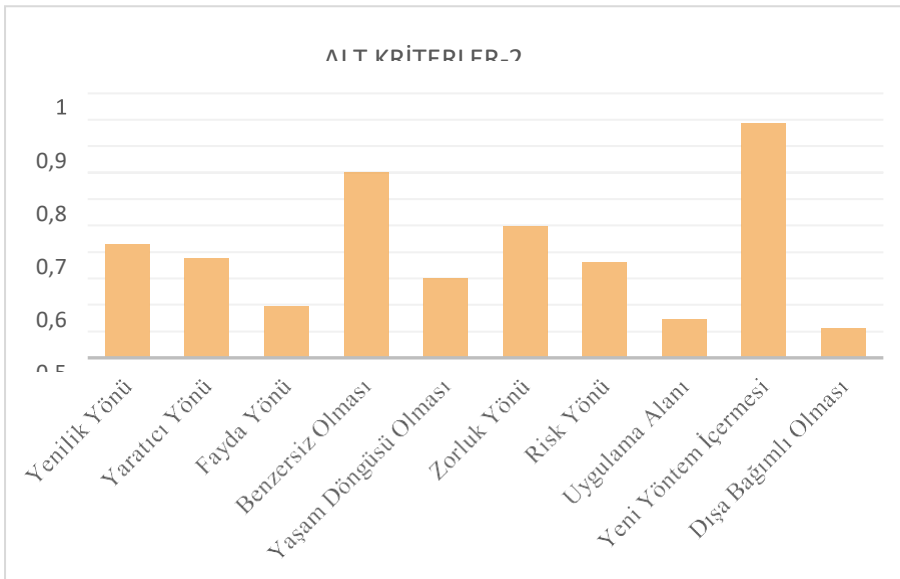
Şekil 9: Projenin ARGE Düzeyi, Teknolojik Düzeyi, Yenilikçi Yönü alt kriterlerinin ağırlıkları



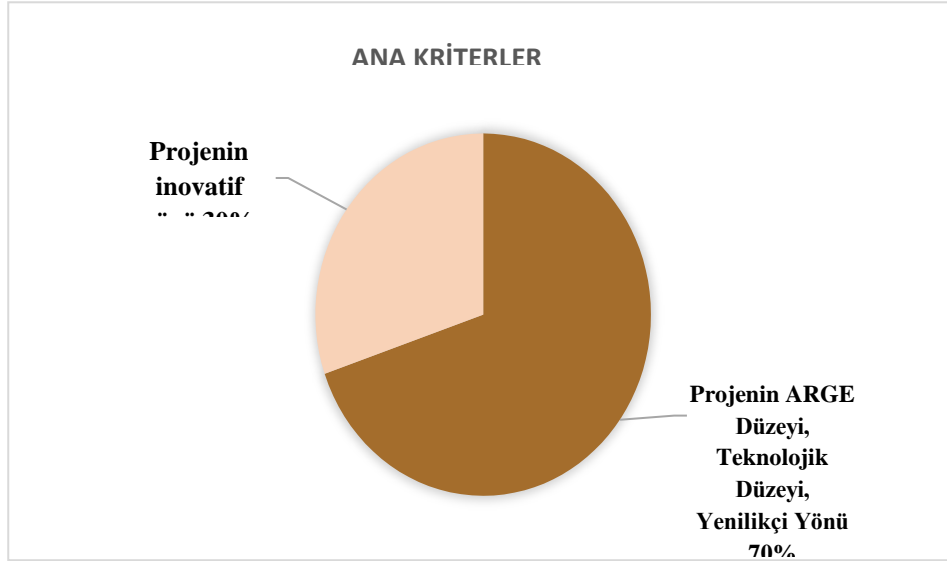
Şekil 10: AR-GE Yetenekleri alt kriterleri ağırlıkları

ANA KRİTERLER	AĞIRLIK	ALT KRİTER-1	AĞIRLIK	ALT KRİTER-2	AĞIRLIK
Projenin ARGE Düzeyi, Teknolojik Düzeyi, Yenilikçi Yönü	0,697	Yenilikçilik	0,437	Yenilik Yönü	0,428
				Yaratıcı Yönü	0,376
				Fayda Yönü	0,196
		Sürdürülebilirlik	0,374	Benzersiz Olması	0,701
				Yaşam Döngüsü Olması	0,299
		Ar-Ge Yetenekleri	0,189	Zorluk Yönü	0,496
				Risk Yönü	0,36
Uygulama Alanı	0,144				
Projenin inovatif yönü	0,303	Ar-Ge Niteliği	1	Yeni Yöntem İçermesi	0,889
Dışa Bağımlı Olması	0,111				

Çizelge 8: Kriter ağırlıkları



Şekil 11: Alt kriterler-2 ağırlıkları



Şekil 12: Ana kriterlerin ağırlıkları

BAHP sonucuna göre projelerin kriterleri ağırlıklandırılmıştır. Projenin hayata geçirilmesi sürecinde önem seviyesi en büyük ana kriter ‘Projenin ARGE Düzeyi, Teknolojik Düzeyi ve Yenilik Yönü’ kriteridir. Bu ana kriterin altında olan önem seviyesi en yüksek alt kriter ise ‘Yenilikçilik’ kriteridir. Yenilikçilik alt kriterinin altındaki ikincil alt kriter olan ‘Yenilik’ yönü kriteri ise önem düzeyi en yüksek ikincil alt kriterdir.

Proje seçiminde, Ar-Ge düzeyini ölçmek amacıyla oluşturulan kriter ağırlıklandırması dikkate alındığında, projelerde öncelikli olarak yenilikçilik yönünün (özellikle yenilik ve yaratıcılık) ön planda olması gerektiği görülmektedir. Ayrıca, sürdürülebilirlik kapsamında benzersizlik ve yaşam döngüsü değerlendirmeleri, Ar-Ge yetenekleri açısından ise risk ve zorlukların analizi önem arz etmektedir. Son olarak, inovatif yönün gücünü artıran yeni yöntemlerin geliştirilmesi ve dışa bağımlılığın azaltılması da projelerin başarı şansını yükseltecek kritik unsurlardır.

Sonuç olarak ‘Projenin ARGE Düzeyi, Teknoloji Düzeyi ve Yenilikçi Yönü’ en önemli ana kriteridir. Buna göre yeni bir proje seçiminde bu kritere bütçe, zaman ve çalışan harcanmalıdır.

KAYNAKÇA

Tez Örneği

1. Altinkaya, Z. (2021). AHP, Bulanık AHP ve TOPSİS Yöntemleri Kullanılarak İyileştirme Önerileri için Karar Destek Sistemi Oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi.
2. Cengiz, D. (2012). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Üzerine Karşılaştırmalı Analiz. Yüksek Lisans Tezi, s. 8-10.
3. Derici, S. (2019). Hastanelerin Hizmet Kalitesinin Hastaların Bakış Açısı ile Değerlendirilmesi: Bir Bulanık AHP Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, s. 44-47.
4. Tolga, A. (2009). Araştırma Geliştirme Projelerinin Değerlendirilmesine Bulanık Gerçek Opsiyon Yaklaşımı. Doktora Tezi.

Makale Örneği

5. Binici, E., & Aksakal, E. (2020). Ar-Ge proje seçim problemine yeni bir yaklaşım ve çözüm önerisi: UTA yöntemi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 217-219.
6. Kas Bayrakdaroğlu, F., & Kundakçı, N. (2019). Bulanık EDAS Yöntemi ile Ar-Ge Projesi Seçimi. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi.
7. Huang, C.-C., Chu, P.-Y., & Chiang, Y.-H. (2008). A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection. Science Direct.
8. Lee, S., Cho, C., Choi, J., & Yoon, B. (2017). R&D Project Selection Incorporating Customer-Perceived Value and Technology Potential: The Case of the Automobile Industry. Sustainability.

Yalnızca İnternet Ortamında Yer Alan Kaynaklar

9. Kazan, P. D. (2020). Proje Yönetimi. <https://docplayer.biz.tr/186001712-Proje-yonetimi-prof-dr-halim-kazan-istanbul-universitesi-acik-ve-uzaktan-egitim-fakultesi.html> (Erişim tarihi: 30.12.2024).
10. OECD.(2008).Wikipedia.
https://tr.wikipedia.org/wiki/Ara%C5%9Ft%C4%B1rma_ve_geli%C5%9Ftirme
(Erişim tarihi: 30.12.2024).

E-dergilerdeki Makaleler

11. Ömürbek, N., Makas, Y., & Ömürbek, V. (2015). AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Kurumsal Proje Yönetim Yazılımı Seçimi. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 68-72.

12. Sarı, E. B. (2017). Endüstri İşletmelerinde Ar-Ge Projelerini Öncelik Sıralamasında Entropi Ağırlıklı TOPSİS Yöntemine Dayalı Çok Kriterli Bir Analiz. International Journal of Academic Value Studies, 159-170.

KARMA KAPASİTELİ TAŞIMALI EĞİTİMDE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN BİR ÇÖZÜM ÖNERİSİ

Cemile AKDEDE YÜKSEL¹, Prof. Dr. Şafak KOCAKALAY²

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
cemile.akdede.yuksel0@ogr.dpu.edu.tr , ORCID ID: 0000-0001-7719-2854

² Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
safak.kocakalay@dpu.edu.tr , ORCID ID: 0000-0002-7041-4722

ÖZET

Taşımali eğitim, eğitimde fırsat eşitliği için kırsal bölgelerde bulunan öğrencilerin eğitim alabilmeleri için okullara servisler aracılığıyla taşınması olup, eğitim sistemimizde kritik bir öneme sahiptir. Ancak bu süreç, maliyet, zaman, kapasite gibi kısıtlar altında karmaşık problemlere dönüşebilmektedir. Bu çalışmada, kırsal bölgelerde yapılan taşımali eğitim sistemi bir Araç Rotalama Problemi (ARP) olarak ele alınmış ve kapasite kısıtları altında maliyeti en aza indirmek için bir çözüm önerisinde bulunulmuştur. Çalışmada, bir ilçe ve ona bağlı köyler arasında gerçekleştirilen öğrenci taşıma sistemi karma kapasiteli araç rotalama problemi olarak modellenmiştir. İlk aşamada problemi ve kısıtlarını yansıtan bir matematiksel bir model geliştirilmiştir. İkinci aşamada Gurobi optimizasyon programı için Python programlama dili kullanılarak problem çözümlenmiştir. Son olarak elde edilen sonuçlar ile mevcut sistem karşılaştırılmış ve taşımali eğitim sisteminde yapılan çözüm önerisinin iyileştirme sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Araç Rotalama Problemi, Taşımali Eğitim, Karma Kapasiteli Sistem

1. GİRİŞ

Taşımali eğitim, eğitimde fırsat eşitliği için kırsal bölgelerde bulunan öğrencilerin eğitim alabilmeleri için okullara servisler aracılığıyla taşınması olup, eğitim sistemimizde kritik bir öneme sahiptir. Ancak bu süreç, maliyet, zaman, kapasite gibi kısıtlar altında karmaşık problemlere dönüşebilmektedir.

Bu çalışma kırsal bölgelerde uygulanan taşımali eğitim sistemini bir Araç Rotalama Problemi (ARP) çerçevesinde değerlendirerek çözüm önerisinde bulunmaktadır. ARP, belirli kısıtlar altında maliyet fonksiyonunu minimize etmeye yönelik matematiksel modeldir. Literatürde ARP ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Dantzig ve Ramser (1959), ARP'yi ilk olarak tanımlayıp lojistik ve ulaşım sistemlerinde temel bir problem olarak ele almıştır [1]. Daha sonra Clarke ve Wright (1964) tarafından oluşturulan tasarruf algoritması, Solomon (1987) tarafından ortaya konan Zaman Pencere AR ile gelişmeye devam etmiş ve farklı türleri ortaya çıkmıştır. Bektas ve Laporte (2007) tarafından geliştirilen bir diğer ARP türü olan Heterojen Filolu ARP, bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır [2] [3] [4].

Bu çalışmada, öğrencilerin taşıma maliyetini azaltmak adına problemi ifade eden bir matematiksel model geliştirilmiştir. Çalışmanın çözümünde Gurobi optimizasyon programı kullanılmıştır. Çözücü için matematiksel model Python programlama dilinde kodlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile mevcut sistem karşılaştırılarak iyileştirme durumları değerlendirilmiş ve daha sonraki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. UYGULAMA

2.1. Çalışmanın Tanımı ve Kapsamı

Çalışma, bir ilçe ve ona bağlı köyler arasında gerçekleşen taşıma sistemini konu almaktadır. Bölge coğrafi olarak dağınık bir yapıya sahip olması ve nüfus yoğunluğunun düşük olması nedeniyle çalışma için uygun bir alandır. Araştırma kapsamında merkez nokta ve ona taşıma yapılacak 15 köy ile bu köylerden taşınacak öğrenciler dikkate alınmıştır.

Taşımali eğitimde önemli bir unsur olan köylerin konum bilgileri, okulla ve birbirine olan uzaklıkları, öğrenci sayıları, araç filo durumu ve maliyetleri çalışmanın temel verilerini oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında önerilen sistem, tüm kısıtları göz önünde bulundurarak maliyetleri minimize etmeyi ve araç kullanım etkinliğini azaltarak da karbon emisyonu azaltmayı hedeflemektedir.

2.2. Veri Toplama ve Hazırlık

Problemin çözüm aşamasına başlamadan önce veriler sahadan toplanmıştır. Aşağıda listelenen veri kümeleri veri setinin temelini oluşturmaktadır ve modelin doğruluğu için son derece önemlidir.

- Coğrafi Veriler: Köylerin koordinatları, okula ve birbirlerine olan uzaklıkları.
- Taşıma Talepleri: Her köyde bulunan, okula taşınacak öğrenci sayısı.

- Araç Bilgileri: Araç Türleri, Araç Kapasiteleri.
- Maliyet Bilgileri: Araç kullanım maliyeti, kilometre başına değişen maliyet.

2.3. Matematiksel Model

Taşınmalı eğitim siteminde rotaların oluşturulması Araç Rotalama Problemi kapsamında ele alınmış ve karma kapasiteli bir model geliştirilmiştir. Modelde kullanılan indeksler, kümeler, karar değişkenleri, kısıtlar ve amaç fonksiyonu aşağıda açıklanmıştır.

İndeksler;

- i, j : Köyleri ifade eden indeksler, $i, j \in I \{0, 1, 2, \dots, n\}$
- t : Araç türlerini ifade eden indeks, $t \in T \{1, 2, \dots, T_{max}\}$
- v : Her bir araç türüne ait araçları ifade eden indeks, $v \in V_t$.

Kümeler;

- I : Köylerin kümesi, $I = \{0, 1, 2, \dots, 15\}$ 0: Merkez nokta
- T : Araç türleri kümesi, $T = \{1, 2\}$
- V_t : t türe ait araçların kümesi, $V_t = \{1, 2, \dots, S_t\}$

Parametreler

- S_t : t türüne ait toplam araç sayısı.
- Q_t : t tür aracın kapasitesi. $Q_1 = 14$ $Q_2 = 16$
- c_{ij} : i noktasından j noktaya gidilen mesafe
- d_i : i köyündeki öğrenci sayısı
- M : Bir aracın kullanılmasının maliyeti ($M=667$)
- P : Kilometre başına oluşan rota maliyeti. ($P=15$)
- $MaxMesafe$: Oluşabilecek maksimum rota kilometresi ($MaxMesafe=70$ km)

Karar Değişkenleri

- $x_{ijtv} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } t \text{ türündeki } v \text{ aracı } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına gidiyorsa,} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$
- $z_{tv} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } t \text{ türündeki } v \text{ aracı kullanılıyorsa,} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$
- u_i, u_j : Ağırlıklarda kullanılan pozitif sürekli değişkenler

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Minimize: } Z = \sum_t \sum_v M \cdot z_{tv} + \sum_{t=1}^{T_{max}} \sum_{v=1}^{S_t} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n P \cdot c_{ij} \cdot x_{ijtv} \quad (1.1)$$

Kısıtlar;

- Talep Karşılama Kısıtı

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{T_{max}} \sum_{v=1}^{S_t} x_{ijtv} = 1, \quad \forall j = 1, \dots, n, \quad i \neq j \quad (1.2)$$

- Kapasite Kısıtı

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{S_t} d_j \cdot x_{ijtv} \leq Q_t, \quad \forall t = 1, \dots, T_{max}, \quad i \neq j \quad (1.3)$$

- Akış Kısıtı (Giriş -Çıkış Dengesi)

$$\sum_{j=0}^n x_{ijtv} - \sum_{j=0}^n x_{jivt} = 0, \quad \forall i = 0, 1, \dots, n, \quad \forall t = 1, 2, \dots, T_{max}, \quad \forall v = 1, 2, \dots, S_t, \quad i \neq j \quad (1.4)$$

- Merkezden Çıkma ve Dönme Kısıtı

$$\sum_{j=1}^n x_{0jtv} = z_{tv}, \quad \forall t = 1, 2, \dots, T_{max}, \quad \forall v = 1, 2, \dots, S_t \quad (1.5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i0tv} = z_{tv}, \quad \forall t = 1, 2, \dots, T_{max}, \quad \forall v = 1, 2, \dots, S_t \quad (1.6)$$

- Araç Kullanımı ve Akış Yönetimi Kısıtları

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n x_{ijtv} \leq z_{tv} \cdot M_{big}, \quad \forall t = 1, 2, \dots, T_{max}, \quad \forall v = 1, 2, \dots, S_t, \quad i \neq j \quad (1.7)$$

- Maksimum Mesafe Kısıtı

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n x_{ijtv} \cdot c_{ij} \leq MaxMesafe \cdot z_{tv}, \quad \forall t = 1, 2, \dots, T_{max}, \quad \forall v = 1, 2, \dots, S_t, \quad i \neq j \quad (1.8)$$

- Alt Tur Engelleme Kısıt (MTZ Yöntemi)

$$u_i - u_j + n \cdot \sum_{t=1}^{T_{max}} \sum_{v=1}^{S_t} x_{ijtv} \leq n - 1, \quad \forall i = 1, \dots, n, \quad \forall j = 1, \dots, n, \quad i \neq j \quad (1.9)$$

Amaç fonksiyonu olan kısıt (1.1), araçların sabit kullanım maliyetleri ve toplam rotaların maliyetleri en küçüklemesini ifade eder. Kısıt (1.2), talep karşılama kısıtını ifade etmekte olup, her bir bölgede bulunan öğrencinin tamamının yalnızca bir araç tarafından karşılanmasını zorunlu kılar. Bu kısıt, taşımanın eksiksiz yapılmasını sağlar. Kısıt (1.3), kapasite kısıtını ifade etmekte olup, her bir araçta taşınacak öğrenci sayısının, aracın kapasitesini aşmamasını sağlar. Kısıt (1.4), araç akış dengesini garanti eder. Bir araca giren toplam akış, o araçtan çıkan toplam akışa eşit olmalıdır. Kısıt (1.5) ve (1.6), araçların rotalarına mutlaka merkezden başlamasını ve tekrar merkeze dönmesini zorunlu kılar. Kısıt (1.7), araçların kullanım durumunun toplam akış değişkeniyle bağlantısını sağlar. Kısıt (1.8), araçların yapacağı toplam mesafeyi bir üst sınırla sınırlandırarak rota uzunluklarını kontrol altında tutar. Son olarak, kısıt (1.9), alt tur engelleme kısıtı olarak sistemdeki alt tur oluşumlarını önler ve taşımacılık planının doğruluğunu sağlar. Bu kısıt, Miller, Tucker ve Zemlin (1960) tarafından önerilen yöntemden uyarlanmıştır ve alt turların oluşmasını engelleyerek taşıma planının geçerliliğini korur [5]. Tüm bu kısıtlar, modelin taşımacılık operasyonlarını optimize etmek ve sistemin etkinliğini artırmak için bir bütünlük içinde çalışmasını hedeflemektedir.

2.4. Çözüm Yöntemi

Taşınmalı eğitim sisteminde rota optimizasyonu maliyetleri azaltmak açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, taşınmalı eğitim sistemi için geliştirilen matematiksel model Python programlama dilinde kodlanmıştır. Çözüm aşamasında Gurobi adlı optimizasyon yazılımı kullanılmıştır [6]. Gurobi, karmaşık matematiksel modellerin hızlı ve etkin bir şekilde çözülmesini sağlayan bir doğrusal optimizasyon aracıdır. Python programlama dili ise, açık kaynaklı yapısı ve geniş kütüphane desteği sayesinde modelin dinamik bir şekilde oluşturulmasını ve çözülmesini sağlamıştır. Özellikle Gurobi kütüphanesi, büyük ölçekli ve karmaşık optimizasyon problemleri için etkin çözümler sunarak sürecin hızlanmasına katkı sağlamıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bir ilçe ve ona bağlı 15 köy arasında gerçekleşen taşıma sistemi için önerilen çözüm önerisinden elde edilen sonuçlar Görsel 1’de derlenmiştir.

```
Model optimal çözüme ulaştı. Amaç Fonksiyonu Değeri: 4485.00

Araçların Kat Ettiği Mesafeler ve Maliyetler:
Araç türü 1, araç 1: Toplam mesafe = 68.50 km, Toplam maliyet = 1027.50 TL
Araç türü 2, araç 1: Toplam mesafe = 27.90 km, Toplam maliyet = 418.50 TL
Araç türü 1, araç 2: Toplam mesafe = 69.20 km, Toplam maliyet = 1038.00 TL

Kullanılan Araçlar ve Güzergah Detayları:
Araç türü 1, araç 3: Güzergah
Rota: 0 -> 15 -> 8 -> 13 -> 6 -> 5 -> 0
Araç türü 2, araç 1: Güzergah
Rota: 0 -> 12 -> 4 -> 7 -> 10 -> 11 -> 0
Araç türü 2, araç 5: Güzergah
Rota: 0 -> 1 -> 14 -> 2 -> 3 -> 9 -> 0

Kapasite Kontrolü:
Araç türü 1, araç 1 kapasite kontrolünden geçti. Toplam talep: 14, Kapasite: 14
Araç türü 2, araç 1 kapasite kontrolünden geçti. Toplam talep: 15, Kapasite: 16
Araç türü 1, araç 2 kapasite kontrolünden geçti. Toplam talep: 13, Kapasite: 14
```

Görsel 1. Gurobi çözüm çıktısı

Görsel 1 ve Çizelge 1’deki sonuçlara bakıldığında, önerilen sistemle rotalama sürecinin 16 kapasiteli 1 araç ve 14 kapasiteli 2 araç olmak üzere 3 araçla 4485 ₺ /gün ile yapılabileceği görülmektedir. Önerilen sistemin elde edilen sonuçları ile mevcut sistemin sonuçları iyileşme durumunu gözlemlemek adına Çizelge 1’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1. Mevcut Sistem ile Önerilen Sistemin Elde Ettiği Sonuçların Karşılaştırılması

	MEVCUT SİSTEM	ÖNERİLEN SİSTEM
Maliyet	6881 TL/gün	4485 TL/gün
Kullanılan araçlar	14 kapasiteli 5 araç	14 kapasiteli 2 araç 16 kapasiteli 1 araç
Araç kullanım etkinliği	0,60	0,95

Sonuçlar karşılaştırıldığında, önerilen sistemin taşınmalı eğitim sisteminde iyileştirme sağladığı görülmektedir. Buna göre kırsal bölgelerde karşılaşılan lojistik problemlerin çözümünde matematiksel modelleme ve optimizasyonun etkin bir yöntem olduğu da anlaşılmaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Önerilen model, mevcut taşınmalı eğitim sistemiyle karşılaştırıldığında;

- Maliyetleri yaklaşık %35 azaltmış,
- Araç kullanım etkinliğini %58,33 yükseltmiş,
- Daha az araç kullanımıyla filo yönetiminde verimlilik sağlamıştır.

Taşınmalı eğitim, kırsal bölgelerde yaşayan öğrencilerin eğitim olanaklarına eşit erişimini sağlamak amacıyla, öğrencilerin okullara düzenli bir şekilde taşınmasını içeren bir sistemdir.

Önerilen modelin taşınmalı eğitimde maliyetleri düşürme, kaynakları daha etkin kullanma ve genel verimliliği artırma açısından etkili bir araç olduğu görülmüştür. Bu yapı Türkiye’deki diğer kırsal bölgelerdeki taşınmalı eğitim sistemlerine kolaylıkla uyarlanabilir ve uygulanan bölgelerde de benzer faydalar sağlanabilir.

Sonraki çalışmalarda, bölünebilir kısıtlar eklenerek öğrencilerin taleplerinin birden fazla araç arasında bölünmesiyle maliyetlerin daha da düşürülebileceği öngörülmektedir. Daha büyük ölçekli problemler için sezgisel veya meta-sezgisel algoritmalar kullanılarak hızlı sonuçlar alınabilir. Bu durum, taşınmalı eğitim sistemlerinin daha etkin ve esnek bir şekilde planlanmasına olanak sağlayabilir.

KAYNAKÇA

1. Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80-91.
2. Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12(4), 568-581.
3. Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations Research*, 35(2), 254-265.
4. Bektas, T., & Laporte, G. (2007). The heterogeneous fleet vehicle routing problem. *Transportation Science*, 41(2), 125-136.
5. Miller, C. E., Tucker, A. W., & Zemlin, R. A. (1960). *Integer programming formulation of traveling salesman problems*. *Journal of the ACM*, 7(4), 326–329.
6. Gurobi Optimization. (2023). Gurobi Optimizer Reference Manual. Retrieved from <https://www.gurobi.com>.

ÇOCUK HASTA İLE ÇALIŞAN KLİNİSYENLERİ İLGİLENDİREN İKİ ÖNEMLİ UNSUR: 1. AİLE MERKEZLİ TRANSDİSİPLİNER YAKLAŞIM 2. GELİŞİMSEL VE PSİKO-SOSYAL DESTEK

Dr. Öğr. Üyesi Habibe DİLSİZ

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi,

habibedilsiz@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1252-6096>

ÖZET

Çocuk hastaya yaklaşımda; çocuğun primer çevresinde mikrosistemi içinde yer alan ailesinin varlığı yadsınmaz. Nitekim alan uzmanları çocuğu ilgilendiren tıbbi, gelişimsel ve davranışsal tüm tanıları bilebilir ancak çocuk ile tam zamanlı birlikte olan ve onu tanıyan yegane birim ailedir. Bu nedenledir ki çocuk hastaya yaklaşımda aile oldukça güçlü olan vazgeçilmez bir bileşendir. Gelişim, intrauterin hayattan yaşam sonlanıncaya kadar devam eden kesintisiz bir süreçtir. Hastane yatışları çocuğun hayatında doğrudan bir stres yaratsa da gelişimsel süreç hastanede de devam eder ve gelişimsel gecikmesi olsun ya da olmasın her çocuk istisnasız olarak gelişimsel açıdan desteklenmeyi hak eder. Benzer şekilde hastane yatışlarında çocuğa verilecek olan psiko-sosyal destek bir taraftan hastane yatışının beraberinde getirdiği stres ve zorluklardan çocuğu korurken bir taraftan da ortaya çıkan korku-kaygı-stres gibi çocuğun baş etmekte zorlanabileceği duygu durumları düzenlemesine ve yönetmesine yardımcı olur. Bu çalışmanın amacı; çocuk hasta ile çalışan klinisyenleri ilgilendiren iki önemli unsur olan “aile merkezli transdisipliner yaklaşım” ve çocuk hastaya yönelik “gelişimsel ve psiko-sosyal destek” sürecinin gerekliliği ve önemi konusunda farkındalık oluşturmaktır.

Anahtar Kelimeler: Çocuk Hasta, Aile Merkezli Yaklaşım, Transdisipliner Yaklaşım, Gelişimsel Destek, Psiko-Sosyal Destek.

1.GİRİŞ VE KURAMSAL ÇERÇEVE

“Aile merkezli hizmet; sağlık hizmetinin planlanması, sunulması ve değerlendirilmesinde, hasta, hastanın ailesi ve sağlık çalışanları arasında, tarafların faydasını gözetecek şekilde işbirliği kurulması esasına dayanan bir yaklaşımdır” (Zengin Akkuş ve Bahadur, 2023).

Çocuğun sağlığında ailenin rolü oldukça önemlidir ve bu rol anlaşılmaya başlandıkça, çocuk sağlığı hizmetinde aile merkezli uygulamalar da artmıştır. Aile merkezli hizmetin temel kavramları; ailenin özelliklerine ve tercihlerine saygı, aileyle bilgi paylaşımı, sağlık hizmetine ailenin katılımı ve aileyle iş birliği olarak sıralanabilir. Bu yaklaşım önemli olmasına karşın ülkemizde bu önemli klinik pratiğe dair farkındalığın oldukça düşük olduğu gözlenmektedir (Zengin Akkuş ve Bahadur, 2023).

Farklı disiplinlerin, aile merkezli yaklaşımı kendi perspektifinden ele aldığı gözlenmektedir. Örneğin; hemşirelik mesleğinde aile merkezli yaklaşım “bakım” perspektifinden ele alınarak tanımlanmıştır. Söz konusu tanım alanyazında, “Çocuk sağlığı hemşireliğinde aile merkezli bakım; çocuk ve ailenin fiziksel, duygusal, sosyal, entelektüel, kültürel ve spiritüel yönlerden bir bütün olarak ele alındığı holistik/bütüncül bakım yaklaşımlarıdır” ifadeleri ile yer bulmuştur (Törüner ve Büyükgöncü, 2011). 18. yüzyıldan 1990’lı yıllara uzanan tarihi bir süreçte gelişmiş bir kavram olan “aile merkezli bakım”ın amaçları; çocuk ve aile arasındaki bağları korumak, çocuğun bakımına ailenin katılımını sağlamak, çocuğun hastane ortamında da kendini güvende hissetmesini sağlamak, hastaneye yatmanın çocuk ve aile üzerindeki olumsuz etkilerini önlemek şeklinde sıralanabilir (Sanders, 2009; Aykanat ve Gözen 2014).

Çocuk Gelişimi Bilimi açısından bakacak olursak gelişimsel değerlendirme sürecinde de aile merkezli yaklaşım en etkin ve en işlevsel olduğunu söylemek mümkündür. “Aile Merkezli Gelişimsel Değerlendirme” süreci, çocuğun gelişim alanlarındaki yetilerine aile ile birlikte bakışı içerdiği gibi ailenin çocukla ilgili duygu, düşünce, kaygı ve görüşlerini anlamayı da içermektedir. Bu değerlendirme yönteminde sürece ailenin eşit ve ortak katılımı söz konusudur (Pekcici ve ark., 2011).

“Aile merkezli yaklaşımlar”; temelde sorunları saptama amacı güden “eksiklik modeli” yaklaşımları yerine “güçlülük modeli”ni benimser. Bu modelde; ailenin ve çocuğun sorunlarının tanınması oldukça önemlidir ancak ondan da öte, aile ve çocukların güçlü yanlarının tanınması esas amaçtır. “Güçlü yanlar” çocuk ve ailenin özel ve olumlu özellikleridir ki bu özellikler ailenin ve çocuğun aktif yaşama uyum sürecinde dayanak olarak kullandıkları, yapısal özellikleri, birliktelikleri ya da deneyimleri sonucu oluşturdukları özellikleri

çermektedir. Bu güçlü yanlar olabildiğince anlaşılır ve güçlendirilirse uzun vadede çocuk ve ailesi açısından o denli verimli bir yaşam gelişeceği düşünülür (Hemmeter ve ark., 2001; Pekcici ve ark., 2011).

Gelişim, intrauterin hayattan yaşam sonlanıncaya kadar devam eden kesintisiz bir süreçtir. Hastane yatışları çocuğun hayatında doğrudan bir stres yaratsa da gelişimsel süreç hastanede de devam eder ve gelişimsel gecikmesi olsun ya da olmasın her çocuk istisnasız olarak gelişimsel açıdan desteklenmeyi hak eder. Benzer şekilde hastane yatışlarında çocuğa verilecek olan psiko-sosyal destek bir taraftan hastane yatışının beraberinde getirdiği stres ve zorluklardan çocuğu korurken bir taraftan da ortaya çıkan korku-kaygı-stres gibi çocuğun baş etmekte zorlanabileceği duygu durumları düzenlemesine ve yönetmesine yardımcı olur. Çocuk ve ailenin yüksek yararı esas alındığında; hastanelerde sadece çocukların değil, çocuklar ile birlikte ailelerinin de desteklenmesi son derece önemli ve gerekli parametredir.

2. AMAÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmanın amacı; çocuk hasta ile çalışan klinisyenleri ilgilendiren iki önemli unsur olan “aile merkezli transdisipliner yaklaşım” ve çocuk hastaya yönelik “gelişimsel ve psiko-sosyal destek” sürecinin gerekliliği ve önemi konusunda farkındalık oluşturmaktır. Çalışma kapsamında hazırlanan içerik alanyazın ile klinik deneyimler sentezlenerek oluşturulmuştur.

3. KONUNUN ANA UNSURLARI

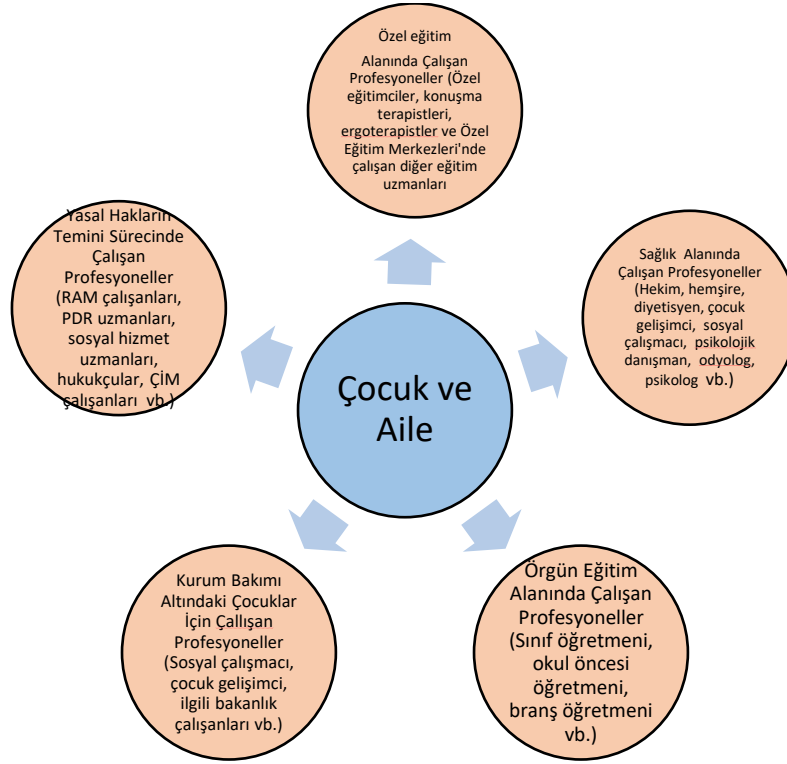
3.1. Transdisipliner Yaklaşım

Transdisipliner yaklaşım; farklı disiplinlerdeki uzmanların tamamının bir problem veya çözümlenmesi gereken bir durum karşısında öncelikle ortak olarak kesiştikleri noktaları belirlemeleri ve hemen arkasından kendi disiplinlerine göre uygun olduğunu düşündükleri çözümleri ortaya koymalarıdır (Rosenfield, 1992). Sahada “transdisipliner yaklaşım” ile “multidisipliner yaklaşım” genellikle birbiri ile karıştırılmakta ya da birbiri yerine kullanılabilir. Multidisipliner yaklaşımda çok sayıda disiplin “bir arada” çalışıp “kendi işini” yaparken, transdisipliner yaklaşımda disiplinler arasında “birlikte” çalışma söz konusudur ve bu yaklaşımda “ortak çalışma ve ortak metodoloji”den söz etmek mümkündür.

3.2. Aile Merkezli Transdisipliner Yaklaşım

“Aile Merkezli Transdisipliner Yaklaşım”, çocuğun mevcut durumu ile ilgili tüm disiplinleri bir araya getirir ve hem çocuğu hem de aileyi merkeze alır. Bu yaklaşımda çocuğun yüksek yararı esas alınarak söz konusu disiplinler çocuk için gerekli planlama ve uygulamayı yapar.

Aslında, “Aile Merkezli Transdisipliner Yaklaşım” sadece sağlık alanında değil, sağlık alanı ile birlikte çocuğu ilgilendiren tüm alanlarda çalışan profesyonelleri gerekli işbirliği ve koordinasyonu yapmak üzere çocuğun yüksek yararını esas alan bir amaç/amaçlar etrafında toplar ve bir araya getirir. Örneğin bu yaklaşımda; sağlık alanında çalışan profesyoneller, örgün eğitim alanında çalışan profesyoneller, özel eğitim alanında çalışan profesyoneller, yasal hakların temini sürecinde çalışan profesyoneller, kurum bakımı altındaki çocuklar için çalışan profesyoneller gerek kendi içlerinde gerekse birbirleri arasında çocuk ve aileyi merkeze alarak transdisipliner olarak çalışma planlayıp uygulayabilir. Görsel 1’de Dr. Habibe Dilsiz tarafından oluşturulmuş olan “Aile Merkezli Transdisipliner Yaklaşım”ı sembolize eden bir şekil görülmektedir.



Görsel 1. Aile Merkezli Transdisipliner Yaklaşım

3.3. Gelişimsel ve Psiko-Sosyal Destek

“Gelişim” ve “büyüme” kavramları sağlık çalışanları arasında dahi birbirinin yerine kullanılmakta ve bu iki kavram genellikle birbiri ile karıştırılmaktadır. Gelişim; intrauterin yaşamdan, yaşam sonlanıncaya kadar devam eden progresiv bir süreçtir. Büyüme, çocuğun

boy-kilo-baş çevresi-göğüs çevresi artışı gibi nicel bir kavrama karşılık gelirken; gelişim, çocuğun bilişsel, dil, hareket, öz bakım, sosyal ve duygusal alanlardaki yetisel durumunu niteleyen dinamik bir kavramdır.

Hastanelerde aylar boyunca yatarak tedavi görmesi gereken çocuklar bulunmaktadır. Bu çocukların gelişimsel açıdan desteklenmesi aslında gelişimsel erken müdahale sürecinin çok önemli bir parçasıdır. Hospitalize edilen çocuklardaki gelişimsel gecikmelerin en erken sürede tespit edilmesi, sorun ortaya çıkmadan önce gelişimsel destek sürecinin başlatılması, sorunun derinleşmesinin önlenmesi, tespit edilen gecikmeler ile ilgili erken müdahale ve rehabilitasyon sürecinin sağlıklı bir şekilde yürütülmesinin sağlanması son derece önemlidir.

Çocukların sadece gelişimsel olarak değil; birbirini dinamik bir süreç içinde etkilemekte olan ve ikili etkileşimsel bir ilişki örüntüsünü adında da barındırmakta olduğu görülen “psiko-sosyal” açıdan, bir başka ifade ile eş zamanlı olarak hem “psikolojik” açıdan hem de “sosyal” açıdan desteklenmesi de bir o kadar önemlidir. Nitekim; gerek “sosyal gelişim” gerekse de “duygusal gelişim” aslında temel gelişim alanlarındandır. Bir başka ifade ile çocuk gelişimsel açıdan desteklendiğinde aslında psiko-sosyal açıdan da desteklenmiş olur, olmalıdır. Bu nedenle bu metinde “gelişimsel destek” ve “psiko-sosyal destek” başlıklarının birbirinden ayrılmadan tek başlık altında incelenmesi tercih edilmiştir. Çocukların hastanede yattıkları sürece hastaneye ve tedaviye uyumları, taburcu olduktan sonra ise reel hayata, okula, sosyal çevrelerine uyum sağlamaları sürecinde hastanelerdeki yatış sürecinde ve taburculuktan sonra almaları gereken bu destekler oldukça önemli ve gereklidir.

Yukarıda ifade edilen unsurlar dikkate alındığında; yolu hastane ve sağlık kurumlarına düşen tüm çocukların gelişimsel ve psiko-sosyal açıdan desteklenebilmesi için gerekli planlamaların yapılmasının son derece elzem olduğu görülmektedir. Hospitalize edilen çocukların anne ve babalarının da psiko-sosyal açıdan desteklenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda; çocukların gelişimsel açıdan, çocukların ve ailelerinin birlikte psiko-sosyal açıdan desteklenebilmesi için hastanelerde “Çocuk Gelişimci”, “Sosyal Çalışmacı” gibi önemli ve gerekli olan meslek elemanlarının istihdamının artırılabilmesi için gerekli ve sürdürülebilir yasal düzenlemelerin ivedilikle yapılması gerekmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME, SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çocuk hastaya yaklaşımda; çocuğun primer çevresinde mikrosistemi içinde yer alan ailesinin varlığı yadsınamaz. Nitekim; alan uzmanları, çocuğu ilgilendiren tıbbi, gelişimsel ve

davranışsal tüm tanıları bilebilir ancak çocuk ile tam zamanlı birlikte olan ve onu tanıyan yegane birim ailedir. Bu nedendir ki çocuk hastaya yaklaşımda aile oldukça güçlü olan vazgeçilmez bir bileşendir. Transdisipliner yaklaşım, çocuğun mevcut durumu ile ilgili tüm disiplinleri bir araya getirir ve çocuğun yüksek yararı esas alınarak söz konusu disiplinler çocuk için gerekli planlama ve uygulamayı yapar. Transdisipliner yaklaşımın hedefe ulaşmasındaki en önemli unsur ise; çocuğu ve ailesini merkeze almak, çocuğun ve ailesinin ihtiyaçları doğrultusunda planlama ve uygulama yapmaktır. Gelişim, intrauterin hayattan yaşam sonlanıncaya kadar devam eden kesintisiz bir süreçtir. Hastane yatışları çocuğun hayatında doğrudan bir stres yaratsa da gelişimsel süreç hastanede de devam eder ve gelişimsel gecikmesi olsun ya da olmasın her çocuk istisnasız olarak gelişimsel açıdan desteklenmeyi hak eder. Benzer şekilde hastane yatışlarında çocuğa verilecek olan psiko-sosyal destek bir taraftan hastane yatışının beraberinde getirdiği stres ve zorluklardan çocuğu korurken bir taraftan da ortaya çıkan korku-kaygı-stres gibi çocuğun baş etmekte zorlanabileceği duygu durumları düzenlemesine ve yönetmesine yardımcı olur. Bu çalışmada; çocuk hasta ile çalışan klinisyenleri ilgilendiren iki önemli unsur olan “aile merkezli transdisipliner yaklaşım” ve çocuk hastaya yönelik “gelişimsel ve psiko-sosyal destek” sürecinin gerekliliği ve önemi konusunda farkındalık oluşturmak amaçlanmıştır. Bu hususta pozitif etkilerinin sahaya da yansması ümit edilen aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

- Sadece hekim, hemşire gibi sağlık lisansiyerlerinin değil, mezun olduklarında çocuk ve aile birlikte çalışma potansiyeli bulunan tüm disiplinlerin (çocuk gelişimi, psikoloji, psikolojik danışmanlık ve rehberlik, sınıf eğitimi, okul öncesi eğitim, fizyoterapi, ergoterapi, dil-konuşma terapisi, özel eğitim, hukuk gibi) lisansiyerlerinin henüz lisans eğitimi düzeyinde iken “Aile Merkezli Transdisipliner Yaklaşım” ile ilgili farkındalıklarının oluşturulabilmesi için gerekli olan ders müfredatının ivedilikle oluşturulması ve müfredat içine sadece teorik bilgi akışının değil doğrudan uygulamalı olgu örneklerinin entegre edilmesi önerilir.
- Birinci, ikinci ve üçüncü basamak sağlık hizmeti vermekte olan kurumlarda tüm ekip üyeleri tarafından “Aile Merkezli Transdisipliner Yaklaşım”ın benimsenmesinin sağlanması ve bu yaklaşımın kurumun temel felsefesi ve ana prensibi haline dönüştürülebilmesi için yönetici pozisyonundaki kurum liderlerinin gerekli alt yapı ve düzenlemeyi oluşturması ve bu hususta kurum çalışanlarının tümünü içerecek şekilde uygulamalı periyodik hizmet içi eğitimler düzenlenmesi önerilir.

- Çocukların gelişimsel açıdan, çocukların ve ailelerinin birlikte psiko-sosyal açıdan desteklenebilmesi için hastanelerde Çocuk Gelişimci, Sosyal Çalışmacı gibi önemli ve gerekli olan meslek elemanlarının istihdamının artırılabilmesi için gerekli ve sürdürülebilir yasal düzenlemelerin yapılması önerilir.
- Çocuklardaki gelişimsel gecikmelerin en erken sürede tespit edilmesi, sorun ortaya çıkmadan önce gelişimsel destek sürecinin başlatılması, sorunun derinleşmesinin önlenmesi, tespit edilen gecikmeler ile ilgili erken müdahale ve rehabilitasyon sürecinin sağlıklı bir şekilde yürütülmesinin sağlanması ve yolu hastane ve sağlık kurumlarına düşen tüm çocukların gelişimsel ve psiko-sosyal açıdan desteklenebilmesi için ikinci ve üçüncü basamak sağlık hizmeti vermekte olan üniversite ve devlet hastanelerinde çalışmakta olan Çocuk Gelişimci sayısının artırılması ve birinci basamak sağlık hizmeti vermekte olan Aile Sağlığı Merkezleri'nde de Çocuk Gelişimci istihdamına ivedilikle başlanması için gerekli ve sürdürülebilir yasal düzenlemelerin yapılması önerilir.

5. KAYNAKLAR

1. Aykanat, B., Gözen D. Çocuk Sağlığı Hemşireliğinde Aile Merkezli Bakım Yaklaşımı. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi /Gümüşhane University Journal of Health Sciences*: 2014;3(1) 683.
2. Hemmeter ML, Joseph G, Smith B, Sandall S. *DEC recommended practices, program assessment: Improving practices for young children with special needs and their families*. 2001. Longmont, CO: Sopris West.
3. Hockenberry M.J (ed.), Wilson D (ed.), Sanders J. *Impact Of Hospitalization On The Child and Family: Wong's Essentials of Pediatric Nursing*. 8th edition. Mosby Inc, Philadelphia-2009. p: 658-686.
4. Pekcici BB. , Atay G , Ertem, İÖ. Özel Gereksinimi Olan Çocukların Aile Merkezli Yaklaşım ile Değerlendirilmesi. *Türkiye Çocuk Hast. Derg. / Turkish J. Pediatr. Dis*. 2011; 5 (2): 123-128.
5. Rosenfield, P. L. The potential of transdisciplinary research for sustaining and extending linkages between the health and social sciences. *Social Science & Medicine*, 1992; 35(11), 1343-1357.
6. Törüner E (ed.), Büyükgönenç L (ed.), Törüner E, Büyükgönenç L. *Çocuk Sağlığı Hemşireliği: Çocuk Sağlığı Temel Hemşirelik Yaklaşımları*. Gökçe Ofset, Ankara-2011, 172-182.

7. Zengin Akkuş P, İter Bahadır E. *Aile merkezli sağlık hizmeti*. Özmert EN, editör.
Riskli Bebekte Gelişimsel İzlem. 1. Baskı. Ankara: *Türkiye Klinikleri*; 2023, 42-45.

DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE İŞ YERLERİNDE SAĞLIĞI GELİŞTİREN POLİTİKALAR VE STRATEJİLER

HEALTH PROMOTION POLICIES AND STRATEGIES IN WORKPLACES IN THE WORLD AND TURKEY

Doç. Dr. Semra KOCATAŞ¹

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Halk Sağlığı
Hemşireliği Ana Bilim Dalı, Sivas, Türkiye
skocatas@gmail.com - ORCID: 0000-0001-7566-0060

Safiye Seda IŞIK²

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı Hemşireliği Ana
Bilim Dalı (Yüksek Lisans Öğrencisi)
20249155004@cumhuriyet.edu.tr - ORCID: 0009-0006-4617-9052

Özet

İş sağlığı, çalışanların fiziksel, ruhsal ve sosyal iyilik hallerini korumayı ve geliştirmeyi amaçlarken; iş güvenliği, çalışma ortamında karşılaşılabilecek mesleki tehlikeleri önlemeye odaklanır. Sağlığı geliştirme yaklaşımı ise birey ve toplumun mevcut sağlık potansiyellerini artırmayı ve bireylerin olumlu sağlık davranışlarını güçlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışan bireyler zamanlarının çoğunu işyerinde geçirmeleri nedeniyle iş yerleri sağlık teşviki ve sağlığı geliştirme bakımından ideal bir ortam haline gelmektedir. Sağlığı geliştirmenin işyerindeki uygulamaları, çalışanların sağlık durumlarını iyileştirmeyi, güvenli bir çalışma ortamı sağlamayı ve iş tatminini artırmayı içerirken; işverenler açısından ise iş kazaları ve hastalık nedeniyle iş günü kayıplarını azaltmayı, üretkenliği artırmayı ve ekonomik maliyetleri düşürmeyi sağlamaktadır. Geniş bir erişim kapasitesine sahip iş yerleri, sağlık teşviki ve koruyucu hizmetler açısından önemli bir platform sunmakta, bu sayede sağlık hizmetlerinden yararlanması zor olan gruplara da ulaşılabilirliği sağlamaktadır. İş yerinde sağlığın geliştirilmesi hem bireylere hem de topluma uzun vadeli faydalar sağlamak için kritik bir öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: İş sağlığı, iş yerlerinde sağlığı geliştirme, iş yerlerinde sağlık teşviki, iş yerlerinde sağlığı geliştirme politikaları

ABSTRACT

Occupational health aims to protect and improve the physical, mental and social well-being of employees, while occupational safety focuses on preventing occupational hazards that may be encountered in the work environment. The health promotion approach aims to increase the existing health potential of individuals and communities and to strengthen the positive health behaviors of individuals. Since working individuals spend most of their time in the workplace, the workplace is an ideal setting for health promotion and health promotion. Workplace

applications of health promotion include improving the health status of employees, providing a safe working environment and increasing job satisfaction, while for employers it can reduce lost working days due to accidents and illness, increase productivity and reduce economic costs. Workplaces with a wide access capacity provide an important platform for health promotion and preventive services, thus ensuring accessibility to groups that are difficult to access health services. Workplace health promotion is critical for delivering long-term benefits to both individuals and society.

Keywords: Occupational health, workplace health promotion, workplace health incentives, workplace health promotion policies.

Giriş

Yaralanmalar, ölümler, işgünü kayıpları ve ek maliyetler başta olmak üzere, iş kazaları ve meslek hastalıkları hem ülkemizde hem de dünya genelinde ön plana çıkmaktadır. “Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO)” kaynaklarına göre her yıl dünyada 250 milyon adet iş kazası meydana gelmekte ve bu iş kazaları her yıl iki milyondan fazla insanın hayatını kaybetmesine neden olmaktadır. Her yıl yüz bine yakın iş kazasının meydana geldiği ülkemizde de binden fazla vatandaşımız hayatını kaybetmektedir (Aktay, 2024). Bütün bu verilere rağmen gelişmekte olan ülkelerin çoğunda, “İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG)” çok büyük sosyoekonomik ve politik zorluklar nedeniyle hala ihmal edilmektedir (Imankulova ve Dzhusupov, 2018).

Çalışanların gerekli olan sağlık hizmetlerine erişmesi, sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamında bulunması da temel insan haklarıdır (Kayabek ve Çevik, 2022). Bu doğrultuda çalışanların görevlerini en iyi şekilde yerine getirebilmesi, öncelikle kendilerinin sağlıklı olması ile gerçekleşecektir (İnci ve ark., 2016).

Sağlıklı ve güvenli bir ortamda çalışmak her çalışan için, öncelikle insan sağlığı göz önünde bulundurularak önemsenmelidir. Bu anlamda iş ortamının risklerden arındırılması gerekmektedir. İş yerinde mevcut olan risklerin ortadan kaldırılması için öncelikle bu risklerin belirlenmesi, ayıklanması ve tekrar oluşumunun engellenmesi gerekmektedir (Ateş, 2020). Bunun için de gerekli olan unsur iş yerlerinde sağlığı geliştirmeye önem vermektir. İş yerleri, çalışan nüfusun büyük bir kısmının sağlığını geliştirilmesini desteklemek için ideal bir ortam sunmaktadır (Proper ve Van Oostrom, 2019).

Bu çalışmanın amacı, “İSG” alanında çalışanların sağlığını koruma ve geliştirme stratejilerini ele alarak, işyerlerinde sağlıklı ve güvenli ortamların oluşturulmasına katkı sunmaktır. Çalışma, bu alandaki literatüre katkı sağlamayı ve uygulamada rehberlik edecek öneriler geliştirmeyi hedeflemektedir.

1.İŞ SAĞLIĞI, İŞ GÜVENLİĞİ VE SAĞLIĞI GELİŞTİRME

“ILO ve Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) Ortak Komitesi” tarafından 1951 yılında yapılmış olan iş sağlığı tanımı, bütün çalışma alanlarını kapsayacak bir biçimde şu şekilde ifade edilmektedir: “İş sağlığı, bütün mesleklerde çalışanların bedensel, ruhsal ve sosyal yönden iyilik hallerini sürdürme ve daha üst seviyelere çıkarma çalışmalarıdır” (Yıldız ve ark., 2012). “ILO” 2016 yılında ayrıca iş sağlığını “Çalışma koşullarının neden olduğu ve çalışanların sağlıklarından uzaklaşmalarına yol açabilecek durumların önüne geçilmesini, sağlık risklerinden korumasını,

fizyolojik ve psikolojik yeteneklerine uygun işe yerleştirilmesini hedefleyen disiplinler bütünü” olarak tanımlamıştır (Gül ve ark., 2020). İş sağlığının amaçları ise; çalışanların sağlığını ve çalışma kapasitesini korumak ve geliştirmek, çalışma koşulları ve ortamını güvenlik ve sağlığa elverişli hâle getirmek için iyileştirmek, ilgili kuruluşun benimsemiş olduğu temel değer sistemlerini yansıtan, etkili yönetim sistemlerini, personel politikalarını, katılım ilkelerini ve gönüllü kaliteye dayalı yönetim uygulamalarını içeren bir iş organizasyonu ve çalışma kültürü geliştirmek, böylece iş sağlığı ve güvenliğini iyileştirmek olarak belirtilmektedir (WHO, 2024). İş yerlerinde “İşin yapılması sırasında çalışma ortamındaki çeşitli etmenler nedeniyle çalışanların karşılaştıkları sağlık sorunları ve mesleki tehlikelerin ortadan kaldırılmasına yönelik yapılan sistemli çalışmalar” ise iş güvenliği olarak tanımlanmaktadır (Erol, 2015).

“İSG” genel olarak, “Çalışanların iş ortamından veya iş ortamı dışındaki faktörlerden kaynaklı ortaya çıkabilecek; çalışanın sağlığını ve güvenliğini tehlikeye düşürebilecek risk durumlarının belirlenmesini, tanımlanmasını, değerlendirilmesini, kontrol altına alınmasını ve ortadan kaldırmasını amaçlayan multidisipliner bir bilim” olarak tanımlanmaktadır (Öçal ve Çiçek, 2017). İlerleyen süreçte bu tanımlara sağlığı geliştirme yaklaşımı da eklenmiştir. “Sağlığı geliştirme” birey, aile, toplum ve toplum gruplarının sağlık potansiyellerinin geliştirilmesi ve iyilik düzeyinin yükseltilmesine yönelik aktiviteleri kapsamaktadır. Sağlığı geliştirme, bireyin var olan olumlu sağlık tutumlarının en üst düzeye getirilmesini hedeflemektedir (Yıldız ve ark., 2012). Çalışanlar iş yerinde çok fazla zaman geçirdiğinden mevcut sosyal ağlar ile olumsuz davranışları değiştirmek bunun yanı sıra sağlığı geliştirmek için kullanılabilirliğinden, işyerleri sağlığın geliştirilmesi açısından umut verici ortamlardır (Carr ve ark., 2015). Ayrıca iş yerleri, çok sayıda bireye ulaşmak için gerekli altyapıyı ve sürekli erişimi sunmaktadır. Bu geniş erişim, sağlık teşviki konusunda erişimi zor olan demografik gruplara ulaşma fırsatını da beraberinde getirmektedir (Bezzina ve ark., 2021). İş yerinde sağlığı geliştirmenin hem işveren hem de çalışanlar açısından pek çok faydası bulunmaktadır. Bu faydalar işverenler açısından; hastalık ve kaza nedenli iş kayıplarının azalmasını sağlamak, işyerinde verimli çalışmanın sağlanması ve üretimin artmasına destek olmak, iş yeri ile ilgili olumlu imaj oluşturmak ve sağlık harcamalarının artmasını önlemektir. Çalışanlar açısından faydaları ise; güvenli bir çalışma ortamında çalışmalarını sağlamak, sağlıklı olarak çalışmalarını desteklemek ayrıca işten memnuniyetlerinin ve tatminlerinin artması olarak özetlenmektedir (Yıldız ve ark., 2012).

2.İŞ KAZALARI VE MESLEK HASTALIKLARI

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından yapılan sağlık tanımı “İnsanların fiziksel, ruhsal ve sosyal yönden tam bir iyilik hali içerisinde olması” şeklinde ifade edilmektedir. Çalışan insanların farklı sebeplerden kaynaklı olmak üzere iş kazaları ve meslek hastalıkları nedeniyle tam iyilik halinden uzaklaşmalar meydana gelmektedir. İş hayatında en fazla fiziksel yönden zararlar oluşmaktadır. Bu zarara sebep olan faktörler ise iş kazası ve meslek hastalıklarından oluşmaktadır. “ILO” iş kazası tanımını “Belirli bir zarara ya da yaralanmaya neden olan beklenmeyen ve önceden planlanmamış olaylar ve eylemler” şeklinde ifade etmektedir. (Özdemir ve Serin, 2022).

5510 sayılı Kanun’un ilgili maddesi uyarınca iş kazası tanımlaması ise şu şekilde belirtilmektedir: “Sigortalının işyerinde bulunduğu sırada, işveren tarafından yürütülmekte olan iş nedeniyle, sigortalı kendi adına ve hesabına bağımsız şekilde çalışıyorsa yürütmekte olduğu

iş nedeniyle, bir işverene bağlı olarak çalışan sigortalının görevli olarak iş yeri dışında başka bir yere gönderilmesi nedeniyle asıl işini yerine getirmediği durumlarda, sigortalı çalışan bireylerin işveren tarafından sağlanan bir taşıtla işin yapıldığı yere ulaşımı sırasında meydana gelen ve sigortalıyı hemen veya sonradan bedenen ya da ruhen engelli hâle getiren durumlardır.” (Ceylan ve Gözüak, 2021).

Son yıllarda iş kazalarının nedenlerini ortaya koymak amacıyla birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalarda düzensiz ve uzun çalışma sürelerinin çalışanlarda yorgunluğu arttırdığı ve bu durumun kaza riskini de beraberinde getirdiği saptanmıştır (Aşkın ve Öztürk, 2022). Yine çalışmalar sonucunda saat 11:00 ile 11:59 arası iş kazalarının en yüksek seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. Bu husus yemek saati öncesinde özellikle tehlikeli, çok tehlikeli sınıfta ve efor sarf edici işlerde çalışan kişilerin yemek saatine yakın kan şekeri seviyesinin düşmesi ve beraberinde çalışanların dikkatlerinin azalması ile de açıklanmaktadır (Çavdar ve ark., 2022). Bir başka iş kazası nedeni ise kaza yapan işçilerin yaptıkları iş ile ilgili mesleki eğitim sertifikalarının olmayışı olarak tespit edilmiştir (Karadağ ve Kepekli, 2018). 2016-2017 yıllarında meydana gelen iş kazaları çalışmaları sonucunda ise insan düşmesi tipindeki kaza türünün ilk sırada yer aldığı tespit edilmiştir. Bu durumun nedeni ise gerekli önlemlerin alınmaması, uyarı levhalarının bulunmaması, işçilere gereken “İSG” eğitimlerinin detaylı olarak anlatılmaması olarak belirtilmiştir (Uzdil ve Güllüoğlu, 2020). Buna karşın yapılan araştırmaların ortak bulguları; iş kazalarının temel nedeni olarak işveren ve çalışanların iş güvenliğinin önemi konusunda yeterli bilgi ve bilinç seviyesine sahip olmaması olarak saptanmıştır (Arpa ve Çakı, 2018).

Çalışanların sağlığını etkileyen bir diğer faktör meslek hastalıkları olarak karşımıza çıkmaktadır. Meslek hastalıkları Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından “Sigortalının çalıştırıldığı işin niteliğine göre yinelenen bir sebeple veya işin yürütülme şartları yüzünden uğradığı geçici veya sürekli hastalık, sakatlık veya ruhi arıza halleridir” şeklinde tanımlanmaktadır (Özdemir ve Serin, 2022).

Ülkemizde meydana gelen meslek hastalıkları; A Grubu: Kimyasal maddelerden kaynaklanan meslek hastalıkları, B Grubu: Mesleki cilt hastalıkları, C Grubu: Pnömonozlar ve diğer mesleki solunum sistemi hastalıkları, D Grubu: Mesleki bulaşıcı hastalıklar, E Grubu: Fiziksel etmenler sonucu meydana gelen meslek hastalıkları olmak üzere 5 grupta toplanmaktadır. Bununla birlikte meslek hastalıkları, etkiledikleri organlara ve meslek hastalığına sebep olan etkenlere göre de sınıflandırılmaktadır (Ilıman, 2015). Meslek hastalıkları etkiledikleri organlara göre; solunum sistemi, sindirim sistemi, hematopoetik sistem, kas iskelet sistemi, işitme organı ve sistemi, çoklu organ etkilenimi olarak, meslek hastalığına sebep olan etkene göre; kimyasal nedenler, fiziksel nedenler, biyolojik nedenler ve tozlar olarak gruplandırılmaktadır (Keçeci, 2019).

ILO'nun yayınladığı en son rapora göre iş kazaları ve iş yerinden kaynaklı hastalıklarından dolayı her yıl 2,78 milyon işçi hayatını kaybetmektedir. Bu ölümlerin yaklaşık 2,4 milyonu (%86,3) işle ilgili hastalıklardan ve 380.000'den fazlası (%13,7) iş kazalarından kaynaklanmaktadır. SGK'nın 2021 verilerine göre 5510 sayılı kanun 4 maddesi kapsamında 531 erkek 24 kadın olmak üzere toplam 555 iş kazası ve meslek hastalığının olduğu bildirilmiştir (Çapuk ve ark., 2023).

Her meslek hastalığının ve iş kazasının belirli semptomları ve risk faktörleri bulunmaktadır. Bu nedenle, “İSG” önlemlerinin alınması hem meslek hastalıklarının erken teşhisinde hem de iş kazalarının meydana gelmesinin engellenmesinde çok önemlidir. “İSG” kurallarına uyulması, kişisel koruyucu ekipmanların kullanılması ve işyeri koşullarının iyileştirilmesi gibi önlemler, meslek hastalıklarının ve iş kazalarının risk durumlarını azaltabilir ve bu durumların önüne geçebilir. Ayrıca işçilerin düzenli olarak sağlık kontrolleri yaptırmaları da bu konuda büyük bir önem taşımaktadır. (Çetin ve ark., 2024).

3.İŞ YERLERİNDE SAĞLIK TEŞVİKİ

Sağlık Teşviki, DSÖ tarafından Ottawa Bildirgesi'nde, "İnsanların sağlıkları üzerinde kontrol sağlamalarına ve sağlıklarını geliştirmelerine olanak tanıyan bir süreç" olarak tanımlanmıştır (Verra ve ark., 2019). Sigara kullanımı, alkol tüketimi, sağlıksız beslenme ve fiziksel aktivite eksikliği gibi sağlıksız davranışların çalışanların sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olduğu iyi bilinmektedir. Bu tür sağlıksız davranışlar, iş yerinde verimlilik kaybı ve artan hastalık izinleri ile de ilişkilidir. Ayrıca, sağlıksız davranışlar daha çok düşük sosyoekonomik gruplar arasında yaygındır ve sağlık alanındaki sosyoekonomik eşitsizliklere katkıda bulunur. Bu durumu iyileştirmek amacıyla, çalışanların sağlığını ve sağlık davranışlarını geliştirmeyi hedefleyen çok sayıda “İş Yeri Sağlık Teşvik Programı” geliştirilmiştir (Van de Ven ve ark., 2020). Sağlık teşviki politikaları, toplumların sağlıklı olmasını sağlayacak koşulları oluşturmayı ve sağlıklı seçimler yapmalarını kolaylaştırmayı amaçlar (Verra ve ark., 2019). İş Yeri Sağlık Programları, çalışanları sağlıklı davranışlara teşvik etmek ve onların refahını desteklemek amacıyla iş yerinde uygulanan politika, çevresel destek ve etkinliklerden oluşan koordineli ve kapsamlı sağlık teşviki stratejileridir (Crane ve ark., 2019). İş Yeri Sağlık Teşviki, yalnızca kısa vadeli riskleri azaltmanın veya doğrudan sağlık tehditlerini ele almanın ötesinde, ölçülebilir iyileştirmeler yoluyla daha iyi sağlık sonuçlarına odaklanır. İş Yeri Sağlık Teşviki'nin yaygın örnekleri arasında iş yerinde sağlıklı beslenmeyi teşvik etmek ve fiziksel aktiviteyi artırmak yer alır. Dolaylı örnekler ise esnek çalışma saatleri politikalarını içerir; bu politikalar genellikle egzersiz yapma veya çeşitli aktivitelere katılma fırsatlarını artırmayı amaçlar. Stres azaltma stratejileri ve alkol ile uyuşturucu hakkında farkındalık yaratma faaliyetleri de genellikle sağlık teşviki içerisinde kabul edilmektedir (Verra ve ark., 2019).

Avrupa Birliği'nde, 1997 yılında kabul edilen “İşyerinde Sağlık Teşviki” üzerine Lüksemburg Deklarasyonu, sağlıklı organizasyonlarda sağlıklı bireyler hedefine ulaşmayı amaçlamıştır (enwhp.org). Lüksemburg Deklarasyonu hedeflerine göre, işyerlerinde sağlığı geliştirme; işverenlerin, işçilerin, toplumun sağlığını ve refahını geliştirmek üzere giriştiği ortak çabalardan meydana gelmektedir. Bu çabalar; çalışma organizasyonu ve çalışma ortamının iyileştirilmesi, aktif katılımın desteklenmesi ve kişisel gelişimin oluşmasına teşvik etmektir. Daha yakın zamanda, Avrupa Birliği'nde 2021-2027 Sağlık ve Güvenlik Stratejik Çerçevesi, işyerinde sağlıklı yaşam tarzlarının benimsenmesine teşvik etmenin, iş günü kayıplarını, kanser, obezite, kardiyovasküler hastalıklar ve diyabet gibi bulaşıcı olmayan hastalıkları azaltabileceğini savunarak bu perspektifini güçlendirmiştir (Farias, 2022).

4.İŞ YERLERİNDE SAĞLIĞI GELİŞTİRME STRATEJİLERİ

İş yerleri, çalışanları hasta olduklarında evde kalmaya ve yıllık aşılar gibi bağışıklık sistemini güçlendiren uygulamalara teşvik ederek hastalıkların yayılmasını önlemeye de yardımcı olabilir. Hastalık ve enfeksiyonun önlenmesini desteklemenin yanı sıra iş yerleri, çalışanlarının güvenliğini sağlamak ve yaralanmaların önüne geçebilmek için de önlemler alabilir (www.healthvermont.gov). Ülkemizde bu kapsamda iş yerlerinde sağlığı geliştirici faaliyetlerin mümkün olduğunca iletişim becerileri yüksek, eğitici vasfı olan kişilerden tercih edilerek yapılması gerektiği belirtilmektedir. Bunun yanı sıra çalışanlara, genel bilgilendirme kapsamında “İSG” ile ilgili genel konular, iş kazaları ve meslek hastalıklarına ilişkin genel bilgiler, ülkemizde hizmet veren kamu ve özel kurum ve kuruluşların anlatılması ayrıca birinci basamak sağlık tesisleri, bunların sunduğu hizmetler, hizmetlere ulaşım ile ilgili bilgilendirmelerin ve tanıtımların yapılması önerilmektedir (T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, 2024). Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Vermont Eyaleti’nde de çalışan yetişkinlerin üçte birinden fazlasının yıllık sağlık muayenesi olmadığı ve birçoğunun yaş ve cinsiyetlerine uygun önerilen taramaları yaptırmadığı saptanmıştır. Vermont Eyaleti bu doğrultuda iş yerlerine önerilen birçok strateji geliştirmiştir. Bunlar: Kanser taramaları, ağız sağlığı, astım yönetimi ve aşıların güncel tutulmasının önemini anlatan eğitim broşürleri hazırlamak, sigortasız veya yetersiz sigortalı çalışanlar için ücretsiz veya düşük maliyetli tarama hizmetlerini tanıtmak, ücretli hastalık izni sunmak, iş amaçlı araç kullanırken emniyet kemeri ve cep telefonu kullanımı gibi güvenli sürüşle ilgili konular hakkında bilgilendirmek, vardiya sürelerini azaltmak ve kişisel koruyucu ekipmanlar sağlamak olarak belirtilmiştir (www.healthvermont.gov). İş yerleri aynı şekilde fiziksel aktiviteye değer verilen ve teşvik edilen bir işyeri kültürü oluşturarak insanları günlük rutinlerine hareket katmaya teşvik edebilir. Bu doğrultuda ise “Güney Avustralya Hükümeti” iş yerlerine; fiziksel aktiviteyi teşvik etmek için esnek çalışma saatleri uygulama, düzenli esneme veya yürüyüş molaları verme, merdiven kullanımını teşvik eden dikkat çekici işaretler yerleştirme, kolay erişilebilir bisiklet imkânı sunma, yerel bir spor salonu için kurumsal indirimler uygulama, çalışanlara düzenli hareketin faydalarını duyurmak için haber bültenleri ve duyuru panoları düzenleme gibi birçok strateji önermektedir (www.healthyworkplaces.sa.gov.au). İş yerleri, sağlıklı beslenmenin teşvik edilmesinde ve sağlıklı gıda seçeneklerinin çalışanlara sunulmasında da önemli bir rol oynayabilir. İş yerleri için önerilen beslenme stratejileri önerileri ise şu şekildedir: Çalışanların düzenli olarak öğle tatillerini yapmalarına teşvik eden mola politikaları geliştirebilir. Bu politikaların yanı sıra beslenme aktivitelerine katılım için ödüller sunma, sağlıklı beslenmeye teşvik edici kampanyalar düzenleme, ücretsiz bir "Sağlıklı Beslenme Atölyesi" gibi yerinde beslenme eğitimi fırsatları düzenleyen atölyeler geliştirme, çalışanlar için iş yerlerinde; buzdolapları ve mikrodalgalar sağlama, sağlıklı gıda seçeneklerin yüzdesini artırmak için sağlıklı otomat ve kafeterya standartları uygulama (www.healthvermont.gov). Ayrıca tütün ürünlerinin kullanımı da iş sağlığı ile yakından ilgilidir. Çalışanların tütün ürünlerini kullanımı ya da tütün dumanından pasif etkilenimleri, ciddi hastalıklar ve erken ölüm için önemli risk faktörleri arasında bulunmaktadır (Yıldız ve ark., 2012).

“Güney Avustralya Hükümeti” iş yerlerine tütün konusuna yönelik de birçok strateji geliştirmiştir. Bu stratejiler arasında; işyerlerinde sigara içme alanları varsa, bu alanların mevzuata uygun olmasını sağlamak, sigarayı bırakma mesajlarını tanıtıcı materyallerle yayınlamak ve sigarayı bırakmayı teşvik eden etkinlikler düzenlemek, sigara bırakma destek

hizmetlerini tanıtmak ve buralara çalışanların erişimlerini sağlamak, iş saatleri içinde sigarayı bırakma programları düzenlemek ve katılımı desteklemek, iş yerindeki bırakma programlarını çalışanların ailelerini ve hane üyelerini kapsayacak şekilde ayarlamak gibi politikaların oluşturulması bulunmaktadır (www.healthyworkplaces.sa.gov.au).

5.DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE İŞ YERLERİNDE SAĞLIK TEŞVİKİ VE UYGULAMALAR

Dünyada iş yerlerinde sağlık teşviki konusunda Belçika'da esnek çalışma saatlerinin teşvikine, dolayısıyla iş-yaşam dengesinin iyileştirilmesine odaklanılmıştır. Hırvatistan'da çalışma yerlerinin tasarımı, çalışanların bağımsızlığı ve iletişim düzeyi konusunda düzenlemeler yapılmıştır. İtalya'da ise Lombardiya bölgesindeki yerel sağlık biriminde aktif olarak iş yerlerinde sağlığı teşvik eden, kamu-özel iş birliği ağı olan "Lombardiya İş Yeri Sağlık Teşvik Ağı" oluşturulmuştur (Verra ve ark., 2019). İşyerlerinde sağlık teşvik uygulamaları doğrultusunda ABD'de ise "Sağlıklı Yaşam Teşvik Programı (Healthy Lifestyle Incentive Programme – HLIP)" oluşturulmuştur. Bu program kapsamında; ücretsiz yıllık sağlık taramaları, tarama sonuçlarına yönelik kişiselleştirilmiş geri bildirim, sağlığı teşvik eden bir dizi etkinliğe katılan çalışanlara, puan kazandıran bir ödül sistemi ile teşvikler sağlanmaktadır (OECD, 2022). Ülkemizde bu bağlamda iş yerlerinde "İSG" alanında gerekli tedbirlerin alınması ve "İSG" hizmetlerinin sağlanması amacıyla "Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (ÇSGB)" tarafından işverenlere yönelik destek ve teşvik uygulamaları sağlanmaktadır (ÇSGB, 2024). Ayrıca "T.C. Sağlık Bakanlığı" tarafından birinci basamak sağlık politikaları ve hizmetleri, aşılama çalışmaları, iş yerlerinde sağlıklı beslenme ve hareketli hayatın sağlık üzerine olumlu etkileri, epidemiyolojik açıdan önemli bulunan kronik hastalıkların yönetimi, sigara bırakma faaliyetleri, bağımlılıkla mücadele farkındalıkları, ağız ve diş sağlığı tarama hizmetleri, özellikle genetik hastalık yükünün azaltılması ve ülke ekonomisine olan maddi zararın azaltılması, üreme, normal doğum ve gebe eğitimleri, kanserden korunma ve erken teşhisin önemi gibi konularda bireylerin bilgi ve bilinç düzeylerinin yukarılara çekilmesi için birinci basamak hizmetlerinin niteliklerini artırmak üzere "İş Yeri Ziyaretleri" uygulamaları başlatılmıştır (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2024). "ÇSGB" ise çalışanlarına yönelik "Sağlıklı Yaşama Davet Projesi" geliştirmiştir Bakanlık bu proje ile çalışanlarının sağlıklı ilgili çeşitli özelliklerini, sağlıklı yaşam davranışlarını öğrenmek ve çeşitli kanallarla yapılacak eğitim ve bilgilendirme çalışmaları ile çalışanlarda sağlıklı yaşam konularında farkındalık kazandırılması ve davranış değişikliği yapılmasını amaçlamıştır (Özcebe ve ark, 2019).

6.SONUÇ

İş kazaları ve meslek hastalıkları hem sağlık bakımından hem de ekonomik açıdan büyük kayıplara sebebiyet vermektedir. Bu kayıpların önlenmesi ve kontrol altına alınması için iş yerlerinde sağlığı geliştirme stratejileri ve sağlık teşviki büyük bir önem taşımaktadır. Çalışanların sağlıklı yaşam tarzlarını benimsemeleri ve bu konuda teşvik edilmeleri, iş güvenliği kültürünün güçlendirilmesine yardımcı olacaktır. Gelişmekte olan ülkelerde bu alandaki engellerin aşılması, iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin etkinliğini arttıracaktır ve çalışanların sağlıklarını koruma ve geliştirmede önemli olacaktır. Sağlık geliştirme stratejilerinin yaygınlaştırılması, çalışan sağlığını koruyarak iş verimliliğini arttıracak bunun yanı sıra iş kazalarını ise azaltacaktır. Bu nedenle, iş sağlığı ve güvenliğine yapılan yatırımların-

teşviklerin artırılması, sağlığı geliştirme stratejilerinin yaygınlaştırılması ve sağlıklı çalışma ortamlarının sağlanması her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Aktay, N. (2024). İş sağlığı ve güvenliği eğitiminin iş güvenliği kültürüne etkisi (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
2. Arpa, M., & Çakı, C. (2018). İş Kazalarını Konu Alan İş Güvenliği Reklamlarında Duygusal Çekiciliklerin Kullanımı: Avustralya ve Singapur İş Güvenliği Reklamları Üzerine İnceleme. *Sosyal Güvenlik Dergisi*, 8(2), 153-172.
<https://doi.org/10.32331/sgd.493020>
3. Aşkın, A., & Öztürk, Ö. F. (2022). Mobilya Sektörü Çalışanlarında İş Kazası ve Meslek Hastalıklarının İncelenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(2), 351-364. <https://doi.org/10.24011/barofd.1063359>
4. Ateş, Z. G. (2020). Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Eğitilmeleri. *Selçuk Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 28(2), 713-744.
<https://doi.org/10.15337/suhfd.738406>
5. Bezzina, A., Clarke, E. D., Ashton, L., Watson, T., & James, C. L. (2024). Workplace Health Promotion Programs Targeting Smoking, Nutrition, Physical Activity, and Obesity in Men: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Health education & behavior: the official publication of the Society for Public Health Education*, 51(1), 113–127. <https://doi.org/10.1177/10901981231208396>
6. Carr, L. J., Leonhard, C., Tucker, S., Fethke, N., Benzo, R., & Gerr, F. (2016). Total Worker Health Intervention Increases Activity of Sedentary Workers. *American journal of preventive medicine*, 50(1), 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2015.06.022>
7. Çapuk, H., Borak, D., Barış, M., Ünüşdü, F., vd. (2024). Sanayide Çalışan İşçilerde İş Kazası, Meslek Hastalıkları ve Madde Kullanımı. *Paramedik ve Acil Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 5(1), 42-50. <https://doi.org/10.54862/pashid.1359659>
8. Crane, M., Bohn-Goldbaum, E., Lloyd, B., Rissel, C., Bauman, A., Indig, D., Khanal, S., & Grunseit, A. (2019). Evaluation of Get Healthy at Work, a state-wide workplace health promotion program in Australia. *BMC public health*, 19(1), 183.
<https://doi.org/10.1186/s12889-019-6493-y>
9. Çavdar, U., Manyaslı, M., Akkaya, E., Sevener, D., et al. (2022). Yaşanan İş Kazalarının Kaza Saatlerine ve Cinsiyete Göre İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi ve Yorumlanması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(1), 360-368. <https://doi.org/10.29137/umagd.880158>
10. Çepni, S. (2018). İş yeri sağlığı geliştirme programının hemşirelerin sağlık davranışları üzerine etkisi [Yüksek Lisans Tezi]. T.C. Dokuz Eylül Üniversitesi.
11. Çetin, M. B., Özdemir, Y., Yıldırım, M., & AYTEKİN, M. A. (2024). Meslek hastalıkları ve iş kazaları ile ilgili istatistiksel çalışmalar: Literatür taraması. *Journal of Social and Administrative Sciences*, 9, 106–121. <https://doi.org/10.52693/jsas.1446610>
12. Erol, S. (2015). İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ KONUSUNDA İŞVEREN, ÇALIŞAN VE DEVLETİN ROLÜ. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 2(4), 86-103.

13. Farias, P. A. M., Raposo, S. R. F., & Pereira, H. J. A. D. R. (2022). Health promotion at work: assessment of lifestyles of administrative assistants in a hospital. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, 56, e20220198. <https://doi.org/10.1590/1980-220X-REEUSP-2022-0198en>
14. Gözüak, M. H., & Ceylan, H. (2021). Türkiye’de inşaat sektöründe meydana gelen iş kazalarının iş sağlığı ve güvenliği bağlamında analizi: Güncel eğilimlere genel bir bakış. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, 8(2), 133-143.
15. Gül, A., Özalp, Ş., & Andsoy, İ. I. (2020). Sağlık kurumlarında iş güvenliğinin değerlendirilmesi. *Zeynep Kâmil Tıp Bülteni*, 51(1), 35-39.
16. <https://www.healthyworkplaces.sa.gov.au/action-areas/smoking> (Erişim Tarihi: 25.11.2024)
17. <https://www.healthyworkplaces.sa.gov.au/action-areas/physical-activity-and-sedentary-work> (Erişim Tarihi: 25.11.2024)
18. <https://www.who.int/health-topics/occupational-health> (Erişim Tarihi: 28.11.2024)
19. <https://www.healthvermont.gov/wellness/worksites-wellness/promote-healthy-food-choices-workplace> (Erişim Tarihi: 25.11.2024)
20. <https://www.healthvermont.gov/wellness/worksites-wellness/promote-preventive-care-and-safety> (Erişim Tarihi: 25.11.2024)
21. <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/haberler-13/is-yerinde-sagligin-gelistirilmesi.html> (Erişim tarihi: 28.11.2024)
22. <https://live.csgb.gov.tr/tr/sikca-sorulan-sorular/%C4%B1s-sagligi-ve-guvenligi-genel-mudurlugu> (Erişim tarihi: 29.11.2024)
23. İlman, E. Z. (2015). TÜRKİYE’DE MESLEK HASTALIKLARI. *Uluslararası Sağlık Yönetimi Ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, 1(1), 21-36.
24. İmankulova, B. N., & Dzhusupov, K. O. (2018). Some Issues of Occupational Health of Health Care Workers in Central Asia (Review). *Annals of global health*, 84(3), 459–464. <https://doi.org/10.29024/aogh.2329>
25. İnci, E. İ., Bilişli, Y., & Hizay, D. (2016). İş kazalarına maruz kalan sağlık çalışanlarının bildirimlerinin değerlendirilmesi: üniversite hastanesi örneği. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, 3(3), 83-88. <https://doi.org/10.5455/sad.13-1477513701>
26. Karadağ, T., & Kepekli, T. A. (2019). İnşaat Sektöründe Yaşanan İş Kazaları ve Kaza Nedenleri. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 314-322.
27. Kayabek, I., & Çevik, C. (2022). Sağlık Çalışanlarında İş Yeri Risk Faktörleri ve Korumaya İlişkin Bir Derleme. *Ordu Üniversitesi Hemşirelik Çalışmaları Dergisi*, 5(2), 258-268. <https://doi.org/10.38108/ouhcd.948609>
28. Keçeci, Ş. (2020). 2010- 2016 Yılları Arasında Türkiye’de Beklenen ve Tespit Edilen Meslek Hastalıkları Sayılarının Karşılaştırılması. *Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 18(2), 52-60.
29. M. B. Çetin, Y. Özdemir, M. Yıldırım ve M. A. Aytekin, “Meslek Hastalıkları ve İş Kazaları İle İlgili İstatistiksel Çalışmalar: Literatür Taraması”, *JSAS*, sy. 9, ss. 106–121, Haziran 2024, doi: 10.52693/jsas.1446610.
30. OECD. (2022). *Promoting health and well-being at work: Policy and practices*. OECD Health Policy Studies. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/e179b2a5-en>

31. Öçal, M., & Çiçek, Ö. (2017). TÜRKİYE VE AVRUPA BİRLİĞİ'NDE İŞ KAZASI VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ. Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi, 6(16), 616-637.
32. Özcebe, H., Bilir, N., Koşuk Ünlü, H., Kin İşler, A., et al. (2019). Büro çalışanlarında sağlığın geliştirilmesi müdahale çalışması; kazanılan deneyimler ve yaşanan güçlükler. Turkish Journal of Public Health, 17(3), 326-336. <https://doi.org/10.20518/tjph.477967>
33. Özdemir, F., & Serin, H. (2022). ÇALIŞAN VE SEKTÖRLERE GÖRE İŞ KAZASI VE MESLEK HASTALIĞI İSTATİSTİĞİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA. Turkish Journal of Forest Science, 6(1), 275-285. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.1086595>
34. Proper, K. I., & Van Oostrom, S. H. (2019). The effectiveness of workplace health promotion interventions on physical and mental health outcomes- a systematic review of reviews. Scandinavian journal of work, environment & health, 45(6), 546–559. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3833>
35. Robroek, S. J., Coenen, P., & Oude Hengel, K. M. (2021). Decades of workplace health promotion research: marginal gains or a bright future ahead. Scandinavian journal of work, environment & health, 47(8), 561–564. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3995>
36. Uzdil, O., & Güllüoğlu, A. (2020). Türkiye İnşaat Sektöründe 2016 ve 2017 Yıllarında Meydana Gelen İş Kazalarının İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması. International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences, 32(2), 137-144. <https://doi.org/10.7240/jeps.555736>
37. Van de Ven, D., Robroek, S. J. W., & Burdorf, A. (2020). Are workplace health promotion programmes effective for all socioeconomic groups? A systematic review. Occupational and environmental medicine, 77(9), 589–596. <https://doi.org/10.1136/oemed-2019-106311>
38. Verra, S. E., Benzerga, A., Jiao, B., & Ruggeri, K. (2019). Health Promotion at Work: A Comparison of Policy and Practice Across Europe. Safety and health at work, 10(1), 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2018.07.003>
39. Yıldız, A. N., Karadağ Çaman, Ö. ve Esin, N. (2012, Kasım). *İşyerinde sağlığı geliştirme programları*. Turkis.org.tr. <https://www.turkis.org.tr/storage/2021/10/ve38a4zji7dz-pdf.pdf> (Erişim Tarihi:22.11.2024)

MAHALLE SAKINLERİNİN İYİ OLUŞ MEKÂNI: KAFE GRANADA

Prof.Dr.Hatice Selma ÇELİKİYAY

Bartın Üniversitesi

scelikyay@bartin.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-7482-9901

ÖZET

Günümüzde kafeler, restoranlar, pastaneler, eğlence yerleri vb. mekânlar, birçok insanın buluşma, karşılaşma, vakit geçirme adresi konumundadır ve sosyalleşme sürecinde önemli rol oynamaktadır. Yarı özel-yarı kamusal nitelikteki bu mekânlar, yalnızca işlevsel bakımdan değil, taşıdıkları simgesel ve imgesel kodlar ile de yaşamımızda büyük rol oynamaktadır. Yerim kimliği ile insanların yaşadıkları çevrelerde sosyal ilişkilerle inşa ettikleri kimlikler arasındaki bağıntılar önem taşımaktadır. Mekânlarda insanların kimliğiyle yerlere ilişkin duyumsadıkları kimlikler bir araya gelmektedir. Bu bildiride yer alan araştırmada Bartın ili, Merkez İlçesi, Kemerköprü Mahallesiinde yaşayan toplam 20 kadından oluşan komşuluk grubunun buluşma mekânı olarak kullandıkları kafede iyi oluş durumları sunulmaktadır. İnsanların algıları, duygu ve düşünceleri gibi öznel verilere dayanan bu nitel araştırmada yarı yapılandırılmış görüşmeler yapılmış, kafe mekânı ile öznel iyi oluş durumları arasındaki ilişki irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mekân sosyolojisi, İnsan-mekân ilişkisi, İyi oluş.

NEIGHBORHOOD RESIDENTS' WELL-BEING PLACE: CAFE GRANADA

ABSTRACT

Today, places such as cafes, restaurants, patisseries, entertainment venues, etc. are places where many people meet, and spend time, and play an important role in the socialization process. These semi-private, semi-public spaces play a major role in our lives not only functionally but also with the symbolic and imaginative codes they carry. The connections between the identity of the place and the identities that people construct through social relations in the environments they live in are important. In places, people's identities and the identities they sense about places come together. In the research included in this report, the well-being situations of the cafe used as a meeting place by a neighborhood group consisting of 20 women living in Kemerköprü Neighborhood, Merkez District, Bartın Province are presented. In this qualitative research based on subjective data such as people's perceptions, feelings and thoughts, semi-structured interviews were conducted and the relationship between the café space and subjective well-being was examined.

Keywords: Sociology of space, Human-space relationship, Well-being.

1. MEKÂN VE İNSAN İLİŞKİSİ

Her mekân bir çevre içinde biçimlenir, yapılır ve insan içindir. İnsan bu çevre ile iletişim ve etkileşim içerisinde bulunur (Aygenç, 2020). Mekân yalnızca fiziksel bir arka plan değildir; sosyal olarak inşa edilmiştir. Fiziksel çevreler- hem yapıları hem de doğal çevreler- sosyal davranışları ve ilişkileri etkiler. Farklı gruplar, kültürel, sosyal ve ekonomik geçmişlere dayalı olarak mekânları farklı şekillerde yorumlayabilir ve kullanabilir. Mekân, kimliğin oluşmasında hayati bir rol oynar. Mekân; çevre, kültür ve insan etkileşimiyle kendisini sürekli yenileyen bir gerçeklik olarak içerisinde her tür toplumsallığın yaşandığı değer yüklü bir zemin olması sebebiyle insani hallerin en yakın tanığıdır (Ayhan, 2022).

Lefebvre (1991)'e göre mekân toplumsal değerler ile anlamlara dayalıdır. İnsanların yaşadığı yerler, aidiyet, topluluk ve öz algılarını etkileyebilir. Örneğin, mahalleler kültürel kimliği somutlaştırırken, kamusal alanlar siyasi ifade ve sosyal hareketlerin mekânları olarak hizmet edebilir.

İnsan-mekân ilişkisinde hareketlilik ve erişim, sosyal etkileşimler ve fırsatlar üzerinde etki yaparak farklı grupların çevreleriyle nasıl etkileşimde bulunduğunu şekillendirebilir. Kentsel tasarım da sosyal etkileşimi etkileyen önemli bir unsurdur. Kamusal alanların ve kentsel çevrelerin tasarımı, sosyal etkileşimi kolaylaştırabilir veya engelleyebilir. İyi tasarlanmış parklar, meydanlar ve topluluk merkezleri sosyal bağlılığı artırırken, kötü tasarlanmış alanlar izolasyona veya çatışmalara yol açabilir.

Mekân ve insan ilişkisi, insanların yaşadığı, çalıştığı ve etkileşimde bulunduğu alanların, bireylerin psikolojisi, davranışları ve sosyal ilişkileri üzerindeki etkisini ifade eder. Mekân, sadece fiziksel bir yer değil, aynı zamanda insanların deneyimlerini, anılarını ve duygularını şekillendiren bir bağlamdır (Gramegna and Ciancia, 2023).

Ayrıca, mekânlar kültürel kimlikleri de yansıtır. Bir yerin mimarisi, tarihi ve sosyal yapısı, o bölgedeki insanların yaşam tarzlarını ve değerlerini etkiler. Örneğin, bir kütüphane, bilgiye erişim ve öğrenme için bir mekân sağlarken, aynı zamanda toplumsal etkileşim ve kültürel etkinlikler için de bir alan sunar.

Mekân ve insan ilişkisi dinamik ve çok yönlüdür. Mekânlar, insanların yaşamlarını şekillendirirken, insanlar da mekânları deneyimleyerek onlara anlam katar. Bu etkileşim, bireylerin ve toplulukların gelişiminde önemli bir rol oynar.

1.1. Mekân ve Aidiyet

Mekân ve aidiyet, insanların kendilerini bir yere veya topluluğa bağlı hissetmeleriyle ilgili derin bir ilişkiyi ifade eder. Aidiyet, bireylerin bir grup, kültür veya yerle olan duygusal bağlarını ve bu bağların getirdiği kimlik hissini kapsar. Aidiyet, bireylerin çeşitli aktiviteler, fiziksel etmenler ve deneyim kazandıkları mekânlar ile aralarında kurdukları karşılıklı etkileşimler şeklinde tanımlanmaktadır. Mekân ise bu aidiyetin somut bir ifadesidir. Mekânsal aidiyet kısaca belirli bir çevreye karşı gelişen duygusal bağ olarak açıklanabilir.

Bir mekân, insanların anılarını, deneyimlerini ve duygularını barındırır. Örneğin, bir çocukluk evi, birey için sadece bir yapı değil, aynı zamanda geçmişin, aile bağlarının ve anıların bir

parçasıdır. Bu tür mekânlar, bireylerin kendilerini güvende hissetmelerine ve kökleri ile bağ kurmalarına yardımcı olur. Bireyin bir mekâna kendini ait hissetmesi oranın fiziksel yapısından daha çok kültürel boyutu ile ilgilidir. Aynı kültürdeki insanların genellikle dini, dili, giyimi kuşamı benzerlik gösterir, bu durum da insan “kendinden” olan “kendi gibi olan” insanların içinde kendini oraya daha çok ait hisseder ve duygusal bir bağ kurar (Bardakçı, 2022).

Aynı şekilde, bir şehir veya mahalle de aidiyet duygusunu pekiştirebilir. İnsanlar, yaşadıkları yerin kültürü, tarihi ve toplumsal yapısıyla özdeşleşirler. Bu bağlamda, yerel etkinlikler, gelenekler ve topluluk aktiviteleri, bireylerin o mekâna olan bağlılıklarını artırır.

Mekân ve aidiyet ilişkisi, göç, yer değiştirme veya sosyal değişim gibi durumlarda da önemli rol oynar. Yeni bir yere taşınmak, bazen aidiyet duygusunu zayıflatabilir; ancak zamanla yeni mekânlar da bireyler için anlam kazanabilir. Aidiyet duygusu, yere ve mekâna bağlılık; yer, mekân, zaman, yaşantı, anılar, aktiviteler, sosyal ilişkiler, psiko-sosyal gereksinimler, kimlik, simge ve semboller gibi bileşenler ve bütünde bireyin çevresine karşı geliştirdiği algı ile ilişkili olarak gelişmektedir (Çolak, 2017).

2.2. Mekân ve İyi Oluş İlişkisi

Mekân ve iyi oluş ilişkisi, bireylerin fiziksel çevrelerinin, ruhsal ve duygusal sağlıkları üzerindeki etkisini ifade eder. İyi oluş, genel anlamda bireylerin fiziksel, zihinsel ve sosyal açıdan sağlıklı ve tatmin edici bir yaşam sürmelerini içerir. Mekânlar, bu iyi oluşu destekleyen veya engelleyen unsurlar barındırabilir. Mekân ve iyi oluş arasındaki ilişki çok yönlüdür ve mekânsal özellikler açısından aşağıdaki başlıklar altında özetlenebilir:

Fiziksel mekân: Fiziksel ortamın tasarımı ve düzeni, ister ev, iş yeri ya da kamusal alan olsun, iyilik halini önemli ölçüde etkileyebilir. Konfor, güvenlik ve erişilebilirliği teşvik eden mekânlar, güvenlik ve mutluluk hissine katkıda bulunur.

Doğa ve Yeşil Alanlar: Doğayla iç içe olan mekânlar, insanların stres seviyelerini azaltabilir ve ruh hallerini iyileştirebilir. Bir şehirdeki parklar, bahçeler veya doğal alanlar, insanların sosyalleşmesi ve dinlenmesi için önemli alanlardır. Araştırmalar, doğada zaman geçirmenin kaygıyı azalttığını ve genel mutluluğu artırdığını göstermektedir. Bu tür mekânlar, bireylerin stres atmasına, arkadaşlarıyla vakit geçirmesine ve doğayla bağlantı kurmasına olanak tanır.

Mekân tasarımı: İç mekânların düzeni, aydınlatması ve renkleri, iç mekân öğelerinin konforu, bireylerin ruh hali üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Örneğin, doğal ışık alan, ferah ve sıcak renklerle dekore edilmiş bir alan, insanların kendilerini daha iyi hissetmelerine yardımcı olabilir. Ayrıca, sosyal etkileşimleri teşvik eden mekânlar, topluluk bağlarını güçlendirerek iyi oluşu artırabilir.

Kültürel ve Sosyal Mekânlar: Kültürel çeşitliliği yansıtan ve kapsayıcı sosyal etkileşimleri destekleyen alanlar, aidiyet duygusunu ve toplum uyumunu teşvik edebilir, bireylerin sosyal bağlantılar kurmasına ve topluluk hissini geliştirmesine olanak tanır. Bu tür etkileşimler, yalnızlık hissini azaltır ve bireylerin kendilerini daha iyi hissetmelerine katkıda bulunur. İyi oluş hali, bireylerin zihinsel ve duygusal sağlığı için önemlidir.

Kişisel Alan-Kişisel Mekân: Yeterli kişisel alanın bulunması, gizlilik ve özerklik için çok önemlidir; bu unsurlar zihinsel sağlık için gereklidir. Bireylerin kendilerine ait alanlar

bireylerin kendilerini ifade etmelerine ve rahatlamalarına olanak tanırken Aşırı kalabalık ortamlar strese ve kaygıya yol açabilir. İyi tanımlanmış kişisel alanlar ve kişisel mekânlar kontrol ve konfor hissini artırabilir, bireylerin stresle başa çıkmalarına ve yaratıcılıklarını geliştirmelerine de yardımcı olabilir.

Zihinsel Alanlar: Düzenli, dağınıklıktan uzak ortamlar daha iyi odaklanmaya ve daha az kaygıya yol açarak zihinsel sağlığı ve duygusal refahı artırır.

İş Ortamı: Çalışma alanının tasarımı, aydınlatma, düzen ve gürültü seviyesi gibi unsurlar, çalışanların verimliliğini, ekip içi iletişimi ve iyilik halini etkileyebilir.

Mekân ve iyi oluş arasındaki etkileşim, güvenlik, erişilebilirlik, bağlanma ve huzuru teşvik eden ortamlar yaratmayı içerir; bunların her biri aynı zamanda daha yüksek bir yaşam kalitesine katkıda bulunur.

2. ARAŞTIRMANIN KURGUSU

Bu araştırmada Bartın ili, Merkez İlçesi, Kemerköprü Mahallesi'nde yaşayan toplam 20 kadından oluşan komşuluk grubunun buluşma mekânı olarak kullandıkları kafede iyi oluş durumları araştırılmıştır. Araştırma insanların algıları, duygu ve düşünceleri gibi öznel verilere dayandığından nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Bu kapsamda, yarı yapılandırılmış görüşmeler yapılmış, kafe mekânı ile kadınların öznel iyi oluş durumları arasındaki ilişki irdelenmiştir. Sosyal olguları bağlı oldukları sosyal çevre içerisinde araştırmayı ve anlamayı planlayan bir araştırma yöntemi olarak tanımlanan nitel araştırma, araştırmaya katılan kişilere açık-uçlu sorular sorulduğu ve konuşma yöntemlerini kullanarak veri toplayan bir araştırma yöntemi olarak ifade edilebilir. Nitel araştırmalar, insanların günlük yaşamlarını nasıl yapılandırıp anlam verdiklerinin keşfedilmesine olanak sağlar (Berg and Lune, 2019).

Araştırmada aşağıdaki soruların yanıtları aranmıştır:

- İyi oluş hali mekânın özelliklerine mi bağlıdır?
- İyi oluş halini birlikte olunan kişiler etkiler mi?
- Mekân iyi oluş halinin bir aracı mıdır?
- İyi oluş hali mekândan bağımsız mıdır?

2.1. Araştırma Grubunun Özellikleri

Bu araştırmada görüşülen mahalle sakinleri Kafe Granada'da en az ayda bir kez buluşan toplam 20 kadından oluşmaktadır. Araştırma grubunu oluşturan kadınların yaşları 55 ile 85 arasında olup ikamet ettikleri konutlar Kafe Granada ile aynı sokak üzerinde bulunmaktadır. Birbirleriyle uzun yıllara dayanan komşuluk ilişkisi vardır. 11 kadın doğduğundan beri, 9 kadın evlenerek mahalleye geldiğinden beri aynı evde oturmaktadır. Toplam 17 konutta ikamet edilen evlerin 8 adeti müstakil bahçeli evdir. Araştırma grubundaki kadınların bir başka ortak özelliği; eşlerinin vefat etmesi nedeniyle dul kalmış, evlenmemiş ya da boşanmış olmalarıdır.

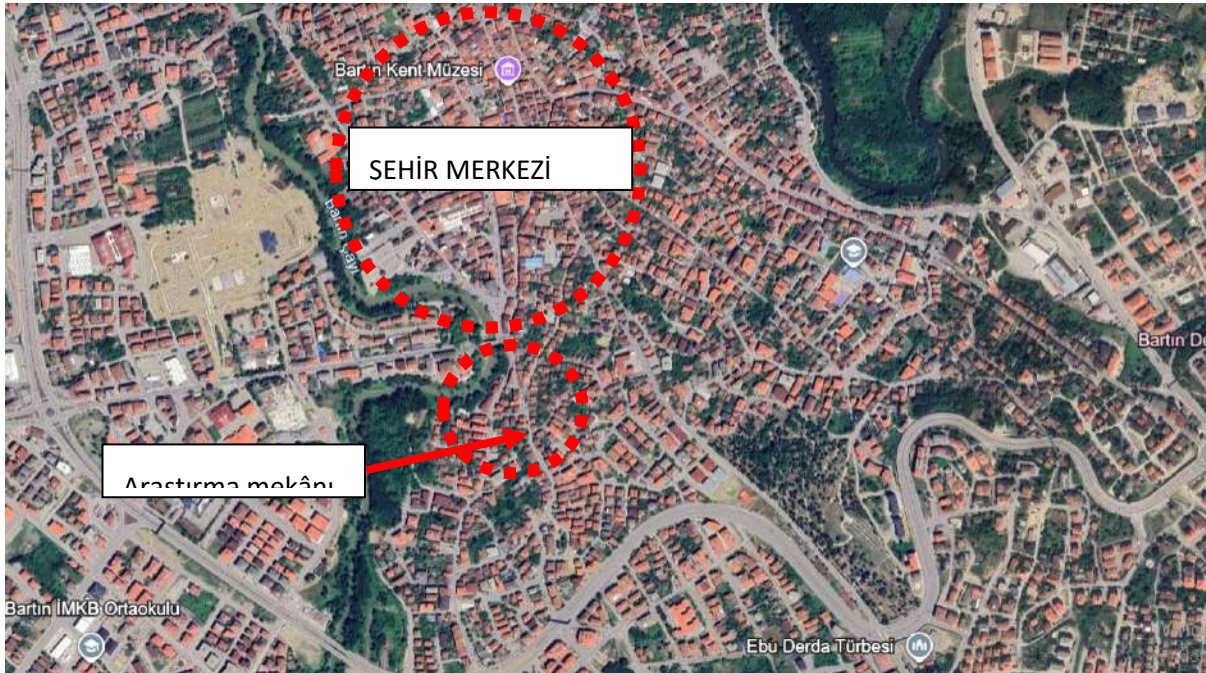
Ülkemizde küçük ölçekli yerleşmelerde olduğu gibi Bartın'da da kadın buluşmaları eskiden beri yaygın bir sosyalleşme aracıdır. Evlerde yapılan ve sıra adı verilen bu buluşmalar için

özellikle pandemi sürecinden sonra dış mekânlar ve kamusal alanlar cazip hale gelmiştir. Küresel ölçekte yaşanan COVID-19 salgını sürecinde gündelik yaşam yoğunluklu olarak evlerde geçmiş, bireyin gündelik yaşamında önemli karşılaşma noktaları olarak nitelendirilen kamusal mekânların kısıtlanması, sokakların kullanılmasına, sokakların kısıtlanması ise insanların kendilerine ‘nefes alacak’ yeni yerler aramasına neden olmuştur (Tekçe, 2021).

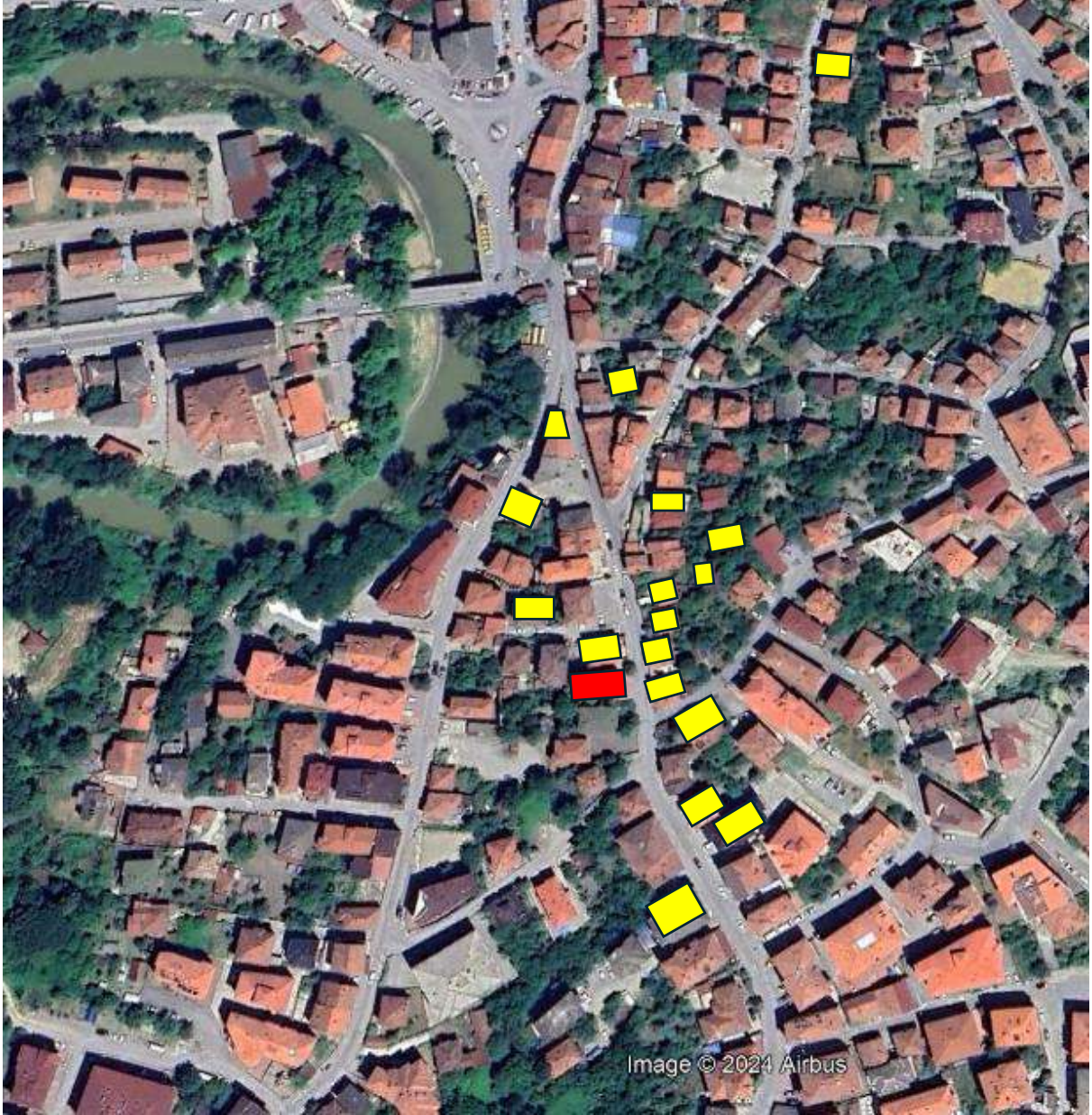
Kamusal mekânların en önemli özelliği; insanların başkalarını görme, duyma, başkalarıyla konuşma, etkileşim ve iletişim içerisinde bulunma, çevresinde yaşanan hayatların/süreçlerin farkına varma olanağını bulmalarıdır. İnsan, doğası gereği başkalarıyla beraber olma eğilimindedir ve bu eğilim mekân seçimlerine de yansımaktadır (Kahraman, 2019). Yaş, cinsiyet, ırk vb. özelliklerinden bağımsız olarak insan yalnız kalma ve tefekkür ihtiyaçlarının haricinde genel itibarıyla başkalarıyla çeşitli temaslar kurabileceği mekânları tercih etmektedir. Bartın’daki kadın buluşmalarında da özel mekânlar yerine restoran ya da kafe gibi kamusal hizmet mekânları tercih edilmektedir.

2.2. Araştırma Mekânı: Kafe Granada

Kafe Granada, Bartın merkez ilçe sınırları içerisinde, şehir merkezinde ancak, yoğun ticari merkezin dışında konut alanları ile çevrili bir bölgede bulunmaktadır (Görsel 1). Konut alanları ile ticari merkezdeki çarşıya pazara geçiş aksı üzerinde bulunmaktadır. Yoldan geçenlerin uğradığı bir kafe mekânı olmaktan daha çok yakın çevrede ikamet eden ve birbirleri ile arkadaşlık, dostluk, tanıdık ilişkisi olan kadınların uğradığı, birkaçının her zaman bulunduğu, araştırma grubunu oluşturan 20 kadının da en az ayda bir kez toplu halde bir araya geldiği bir mekândır.



Görsel 1. Bartın Şehir Merkezine Göre Araştırma Mekânının Konumu, 2024



Araştırma grubunun ikametleri



Kafe Granada



Görsel 2. Kafe Granada ve Araştırma Grubunun İkametlerinin Konumu, 2024



Görsel 3. Mahalle Sakinlerinin Kafe Granada'da Buluşma-Eğlenme Anları, 2024



Görsel 4. Mahalle Sakinlerinin Kafe Granada Avlusunda Buluşma-Eğlenme Anları, 2024

2.3. Araştırma Soruları

Araştırma grubuna ilk olarak yöneltilen sorular; yaş aralıkları, eğitim durumları, meslekleri, aynı mahallede ve aynı sokakta ikamet süreleri ve Kafe Granada'ya uğrama sıklıklarına ilişkin sorulardan oluşmaktadır.

2.3.1. Kişisel Sorular

Çizelge 1. Yaş Aralıkları

Yaş aralığı	Sayı	Oran %
51-60	4	20
61-70	4	20
71-80	11	55
80+	1	5

Araştırma grubunun %55'i 71-80 yaş aralığında, %20'si 61-70 yaş aralığında, %20'si 51-60 yaş aralığında ve %5'i 80 yaş üstündedir (Çizelge.1).

Çizelge 2. Eğitim Durumları

Eğitim durumu	Sayı	Oran %
İlkokul	5	25
Ortaokul	7	35
Lise	5	25
Üniversite	1	5
Y.Lisans/Doktora	2	10

Araştırma grubunun %25'i ilkokul, %35'i ortaokul, %25'i lise, %5'i üniversite, %10'u lisansüstü eğitim almıştır (Çizelge.2).

Çizelge 3. Meslekler

Meslek	Sayı	Oran %
Ev hanımı	15	75
Emekli	3	15
Memur	1	5
Serbest Meslek	1	5

Araştırma grubunun %75'i ev hanımı, %15'i emekli, %5'i memur ve %5'i de serbest meslek sahibidir (Çizelge.3).

Çizelge 4. Aynı mahallede ve aynı sokakta ikamet süreleri

İkamet süresi	Sayı	Oran %
30-40 yıl	1	5
41-50 yıl	2	10
51-60 yıl	3	15
61-70 yıl	8	40
71-80 yıl	6	30

Araştırma grubunun %5'i 30-40 yıl, %10'u 41-50 yıl, %15'i 51-60 yıl, %40'ı 61-70 yıl, %30'u ise 71-80 yıldan beri aynı mahallede ve aynı sokakta ikamet etmektedir (Çizelge.4).

Çizelge 5. Kafe Granada'ya uğrama sıklığı

Uğrama sıklığı	Sayı	Oran %
Her gün	1	5
Haftada birkaç kez	6	30
Haftada bir kez	1	5
Ayda birkaç kez	2	10
Ayda bir kez	10	50

Araştırma grubunun %50'si ayda bir kez, %30'u haftada birkaç kez, %10'u ayda birkaç kez, %10'u haftada bir kez ve %10'u her gün Kafe Granada'ya uğramaktadır (Çizelge.5).

3. ALT TEMALAR ÇERÇEVESİNDE YANITLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Araştırma grubunun mekânda iyi oluş durumları ana temasını destekleyen alt temalar sosyalleşme, bireysellik, hizmet alma, erişim kolaylığı, mekânsal konfor, aidiyet/güvenlik olarak belirlenmiştir. Belirlenen alt temalar çerçevesinde araştırma grubuna sorular yöneltilmiş, verilen yanıtlara göre nihai kodlar oluşturulmuştur. (Çizelge.6).

Çizelge 6. Tematik Analiz Çizelgesi

Tema	Alt temalar	Nihai Kodlar
Mekânda İyi Oluş	1. Sosyalleşme	1.1. Buluşma/Toplanma
		1.2. Sohbet/Muhabbet etme
		1.3. Tombala oynamak
		1.4. Sosyal çevre edinme
	2. Bireysellik	2.1. Dinlenmek
		2.2. Rahatlık
		2.3. Kendine vakit ayırma
	3. Hizmet alma	3.1. Çay/kahve içmek
		3.2. Yemek yemek
	4. Mekânsal konfor	4.1. İç mekân tasarımı
		4.2. İç mekân konforu
		4.3. Mekânsal genişlik
		4.4. Mekânsal ferahlık
		4.5. Dış mekân (avlu)
	5. Erişim kolaylığı	5.1. Eve yakınlık
		5.2. Yaya erişimi
	6. Aidiyet/Güvenlik	6.1. Sakinlik
		6.2. Farklı kullanıcıların olmayışı
		6.3. Mekânı kendine ait hissetme

3.1. Sosyalleşme

Araştırma grubuna yöneltilen “buraya geliş amacınız nedir?” sorusuna verilen yanıtlar ağırlıklı olarak “komşularıyla birlikte olup eğlenmek, hoş vakit geçirmek” şeklindedir.

“Komşular ve akrabalarla buluşmak, Bartın’a has yemeklerinden yemek ve samimiyet” (K20, 2024).

“Eğlenmek, komşularıyla beraber olmak, onlarla beraber olmayı çok seviyorum” (K19, 2024).

“Komşularla buluşmak ve çarşıdan gelirken dinlenmek” (K8, 2024).

Geliş amacının yanı sıra mutlu olunduğu da ifade edilmiştir.

“Tombala oynuyoruz, eğleniyoruz, burada çok mutluyuz” (K18, 2024).

Eylemden ziyade mekânı öne çıkarmak için “Burayı sizin için cazip kılan nedir?” sorusuna verilen yanıtlarda da buluşma beraberlik vurgulanmaktadır.

“Beraberlik, muhabbet, burada buluştuğumuz için” (K19, 2024).

“Komşularımızla buluşuyoruz” (K18, 2024).

“Birlikte olmak, birlikte vakit geçirmek” (K1, 2024).

“Komşularla birlikte vakit geçirmek” (K2, 2024).

“Arkadaş ve komşularla beraberlik” (K9, 2024).

3.2. Bireysellik

Araştırma grubuna yöneltilen “burada hangi aktiviteleri gerçekleştiriyorsunuz?” sorusuna verilen yanıtlar ağırlıklı olarak “çay -kahve içmek, yöresel yemekler, toplantı, tombala oynamak” şeklindedir.

“Çay içmek, sohbet etmek, tombala oynamak, komşularla iyi vakit geçirmek” (K9, 2024).

“Çay içmek, arkadaşlarla buluşma, bir de evime yakın olması nedeniyle bulunmaz kafe” (K7, 2024).

“Ofisten eve dönerken soluk almak için uğruyorum, çay-kahve içiyorum, komşulardan birisi varsa görüşüyoruz, ayda bir kez de büyük grup olarak toplanıyoruz” (K4, 2024).

“Çarşıdan pazardan dönüşte soluklanıyorum, bir bardak çay içiyorum, bizden birisi varsa oturuyoruz” (K1, 2024).

İş kadını olan katılımcı, bireysel gereksinim ve eve yakın oluşu nedeniyle de kafeye sıklıkla uğramaktadır. Şehir merkezindeki çarşıya ve pazara gidenler de eve dönüşte dinlenmek için uğramaktadır. Ancak uğrayanların hepsinde grubun diğerlerinden birini görme motivasyonunun da bulunduğu görülmektedir.

3.3. Hizmet alma

Araştırma grubuna yöneltilen “buradan hangi hizmetleri alıyorsunuz?” sorusuna verilen yanıtlar ağırlıklı olarak “çay -kahve içmek, yöresel yemekler, toplantı, tombala oynamak” şeklindedir.

“Çay içiyoruz, yemek yiyoruz, sobanın üzerinde çay demleniyor” (K9, 2024).

“Çay içmek, arkadaşlarla buluşma, bir de evime yakın olması nedeniyle bulunmaz kafe” (K7, 2024).

“Ofisten eve dönerken soluk almak için uğruyorum, çay-kahve içiyorum, komşulardan birisi varsa görüşüyoruz, ayda bir kez de büyük grup olarak toplanıyoruz” (K4, 2024).

İş kadını olan bir katılımcı, bireysel gereksinim ve eve yakın oluşu nedeniyle de kafeye sıklıkla uğramaktadır.

“Evde çay demleyeceğime buraya gelip bir bardak çay içiyorum, çayı çok güzel, değişiklik oluyor, bazen bir arkadaşla rastlıyorum” (K8, 2024).

Ev kadını olan bir katılımcı evine yakın olan kafede her an çay içme olanağının olmasından yararlanmaktadır.

3.4. Erişim Kolaylığı

“Burayı sizin için cazip kılan nedir?” sorusuna verilen yanıtlar yine arkadaş ve komşularla beraber olmak şeklinde ifade edilmiştir. Ayrıca, evlere yakın oluşu da ifade edilmiştir.

“Evden fazla uzaklaşmadan her zaman gelebilmek” (K5, 2024).

“Arkadaşları görmek, muhabbet ortamı, ayrıca tek başıma da gelip çay içip dinlenebileceğim bir yer” (K8, 2024).

Erişim kolaylığı dışında, bireysel vakit geçirme ve hizmet alma kolaylığına da vurgu yapılmıştır.

3.5. Mekânsal Konfor

“Burası sizin için konforlu mu?” sorusuna verilen yanıtlar genellikle rahat olduğuna ilişkindir.

“Mütevazi ve rahat” (K8, 2024).

“Estetik değil ama rahat” (K6, 2024).

“Evet çok rahat ve ferah” (K5, 2024).

“Fena değil, koltuklar rahat” (K12, 2024).

“Her şey çok güzel, rahat ve huzurlu” (K3, 2024).

“Burada birbirimizle rahat hareket ediyoruz ve nostalji yaşıyoruz. Salon ferah, büyük, soba da yanıyor, üstünde çayımız demleniyor” (K20, 2024).

Mekânın estetik olup olmadığı grubu çok fazla ilgilendirmemektedir. Bir araya geldiklerinde uzun saatler boyunca oturduğundan koltukların rahat olması grup için yeterlidir. Rahatlığı ifade ederken mekânın evlere yakınlığına da vurgu yapılmıştır.

“Evet bizim yaş grubumuz uzak yerlere gidemiyoruz, burada çok rahatız” (K18, 2024).

3.6. Aidiyet/Güvenlik

“Burası sizde hangi duyguları pekiştiriyor? (aidiyet, güvenlik vs.)” sorusuna verilen yanıtlar çoğunlukla güvenlik olarak ifade edilmiştir, aidiyet duygusunu ifade edenler de vardır. Mekânın bireysel aidiyetinden ziyade gruplarına ait oluşuna vurgu yapılmıştır.

“Burada kendimi çok rahat hissediyorum, bize ait bir mekân, yabancı yok” (K19, 2024).

“Mekân bizim, bize özel” (K16, 2024).

“Burada eski komşuluk gelenek ve kültürümüzü pekiştiriyoruz” (K20, 2024).

“Güvenli burası, bizden başka kimse yok, bize ait” (K2, 2024).

“Burası bize ait gibi, güvenli” (K5, 2024).

“Burayı bize ait hissediyorum, çok güvendeyim” (K10, 2024).

“Gençliğimdeki eski samimiyeti, güzel duyguları yaşıyorum” (K11, 2024).

“Büyüklerimizin öğütlerini dinlemek, sohbetlerini dinlemek çok güzel” (K3, 2024).

Sorulara verilen yanıtlarda sıklıkla birliktelikten duyulan mutluluğa, iyi oluş haline vurgu yapılmıştır.

“Biz burada rahatız, birbirimizi tanıdığımız büyüklerimiz, arkadaşlarımız, onun için çok seviyorum” (K12, 2024).

Ayrıca, “Burada kendinizi iyi hissediyor musunuz?” sorusuna araştırma grubunun tümü iyi hissettikleri yanıtını vermiştir. İnsanların uzun yıllara dayanan, komşuluk, arkadaşlık ilişkisi, birlikte oldukları zaman içerisinde kendilerini iyi hissetmelerinin başlıca nedenidir.

“Burası Bartın’ın en eski mahallelerinden ve eski (köklü) ailelerinden, beş altı aile bir aile gibi yaşadık, her şeyi paylaşırdık, onlarla bir araya gelmek, eski günlerimizi yad etmek bize iyi geliyor” (K20, 2024).

“Burada kendimi çok rahat, huzurlu hissediyorum” (K3, 2024).

“Çok iyi hissediyorum” (K5, 2024).

“İyi hissediyorum, beraberliği çok seviyorum” (K19, 2024).

“Komşularıyla birlikte çok iyi hissediyorum” (K1, 2024).

“Çok mutlu oluyoruz” (K16, 2024).

“Burada hoş sohbet ediyoruz” (K18, 2024).

Bu araştırmada 20 kadının Kafe Granada’da iyi oluş durumlarına ilişkin olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- İyi oluş hali mekânın özelliklerine çok bağlı değildir.
- İyi oluş halini birlikte olunan kişiler etkilemektedir.
- Mekân iyi oluş halinin bir aracıdır.
- İyi oluş hali mekândan bağımsız sayılır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Mekân ve bireylerin iyi oluş ilişkisinde kişinin mekânda bulunma amacından bağımsız olarak mekânsal özelliklerin çok olumlu etkileri olduğu söylenebilir. Bu araştırmada irdelenen mekân ve iyi oluş ilişkisinde ise; mekânsal özelliklerin de payı olmakla birlikte, mekândan bağımsız olarak kişilerin bir araya gelme amacı, kimlerle bir araya geldiği, aralarındaki komşuluk ve arkadaşlık ilişkisinin en önemli etken olduğu tespit edilmiştir.

Araştırma grubunun komşuluk ilişkileri, mahalleli kimliği, dayanışma gibi bileşenlerin önemli olduğu geleneksel mahalle kültürüne sahip bireylerden oluşması nedeniyle iyi oluş durumlarında temel faktörün birbirleri ile bir araya gelme eylemi olduğu ve buluşma mekânı olarak seçtikleri Kafe Granada’nın bir araç olduğu sonucuna varılmaktadır. Ancak, evlerine yakın olan kafeye erişim kolaylığı ve toplandıkları zaman kendilerinden başka grup dışından kimsenin olmayışının da aidiyet ve güvenlik duygularını pekiştirdiği, kendilerini rahat ve güvende hissetmeleri, yaz aylarında da kafenin serin ve ferah dış mekânında oturma olanağının olması nedeniyle buluşma, sosyalleşme ve eğlenme mekânı olarak cazip buldukları söylenebilir.

KAYNAKLAR

1. Aygenç, B., Kullanıcı Açısından Mekân Aidiyeti ve Yaşam Çevresinin Psikolojik Etkilerinin Samanbahçe Konutları Örneğinde İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yakın Doğu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Lefkoşa, 2020.

2. Ayhan, D., *Mekânsal Aidiyet Mekân Sosyolojisine Yeni Bir Bakış*, Çizgi Kitabevi, 2022.
3. Bardakçı, M. Ö., *Yaşlılarda Mekân Aidiyeti Yaşlılık ve Mekân İlişkisinin Sosyolojik Analizi*. Çizgi Kitabevi, İstanbul, 2022.
4. Berg, B.L., Lune, H., *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri*, 9.Baskıdan Çeviri, Çev: Asım Arı, Eğitim Yayınevi, 2019.
5. Çolak, S.G., *Mekân-Kimlik Etkileşimi: Kavramsal ve Kuramsal Bir Bakış*, Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi, 6(1): 13-37, 2017.
6. Gramegna, S.M., Ciancia, M., *Human-space relationships as narrative processes for inclusivity*, Academia Press, Ghent, 2023.
7. Kayalı, S., *Mekân Sosyolojisi Bağlamında Kitap Kafelerin İnsan ve Mekân Etkileşimi Açısından İncelenmesi: Ankara Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2021.
8. Kahraman D., M. Kamusal alanın dönüşümü ve kentsel mekânın iletişimsel niteliği üzerine düşünmek, *Planlama*, 29(3):195–201, 2019.
9. Lefebvre, H. *The production of space*. Oxford&Cambridge: Blackwell, 1991.
10. Tekçe, Ö. Pandemi Sürecinde Yeniden Anlam Kazanan Kamusal Mekân ve Toplumsal İlişkiler, *İDEALKENT(COVID-19 Sonrası Kentsel Kamusal Mekânların Dönüşümü)*, 12: 46-70, 2021.

PANDEMİ SONRASI YENİ DÜNYA DÜZENİNDE MAHALLENİN ÖNLENEMEZ YÜKSELİŞİ

Prof. Dr. Selma ÇELİKİYAY

Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi
scelikyay@bartin.edu.tr - 0000-0001-7482-9901

Arş. Gör. Dr. Rukiye Gizem ÖZTAŞ KARLI

Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi
roztas@bartin.edu.tr - 0000-0003-0999-418X

ÖZET

Dünyanın çoğu kentini esir alan küresel salgın sürecinde, kent sağlığı ve kamu sağlığı açısından planlama alanında paradigma değişikliğine ihtiyaç olduğu ortaya çıkmıştır. Çin'den başlayarak, ortak gezegenimizdeki insan yerleşmelerinin çoğunu etkisi altına alan COVID-19 pandemisi sonrası yeni dünya düzeninde bireylerin ve toplumun yaşam biçimi ve dolayısıyla kentsel mekân kullanma şekilleri değişmektedir. Toplum için yaşanılır kentsel mekân üretimini amaçlayan planlama biliminde de yeni bakış ve yaklaşımlar geliştirmenin gerekliliği önem taşımaktadır. Topluma ve doğaya karşı sorumluluğu olan planlıların kamu yararı ve doğa koruma temelinde güvenli, dirençli, yaşanılır kentsel mekân üretimi sürecinde yerel düzeyde dirençli, dayanıklı ve yaşanılır bir kent yaklaşımı için birey odaklı, kamusal fayda odaklı ekolojik değerleri koruyan, her ölçekte sağlık hizmetini sağlayan, nitelikli kamusal alan hiyerarşisi oluşturan bir planlama yaklaşımı gerekir. Kompakt yerleşim modelleri kentlerin direncini artıracak bir gelişim modeli olabilir mi? Yoğunlaştırılmış kent örüntüsü sürdürülebilir kent modeli olarak öngörülmektedir. Çevre büyümesi denetimli, sınır ilişkileri tanımlı, erişimi denetimli küçük ölçekli yerleşmeler daha dirençli bir performans sergileyebilir. Bu bağlamda, kentsel mekân hiyerarşisinde mahalle, üzerinde durulması ve kendi kendine yeten, sakinlerinin gıda ve su güvenliğini sağlayacak şekilde geliştirilmesi gereken birimler olarak karşımıza çıkmaktadır. Kentleşmenin, kalabalıklaşmanın, kentsel kaosun önlenemeyen artışı karşısında insan yerleşmelerinin geleceği için şimdi, yaşam kalitesi vadeden mahallenin önlenemez yükselişinin zamanıdır. Bu bildiride, kendine yeten bir mahalle modelini oluşturacak temel yaklaşımlar ve bileşenler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mahalle, planlama, kendine yeten mahalle modeli.

ABSTRACT

During the global pandemic that has gripped most cities in the world, it has become clear that there is a need for a paradigm shift in planning in terms of urban health and public health. In

the new world order following the COVID-19 pandemic, which has affected most of the human settlements on our common planet, starting from China, the lifestyle of individuals and society, and therefore the way they use urban space, is changing. The necessity of developing new perspectives and approaches is also important in planning science, which aims to produce livable urban spaces for society. In the process of producing safe, resilient, livable urban spaces based on public interest and nature protection by planners who are responsible to society and nature, a planning approach that is individual-oriented, public benefit-oriented, protects ecological values, provides health services at all scales, and creates a hierarchy of qualified public spaces is required for a resilient, durable, and livable city approach at the local level. Can compact settlement models be a development model that will increase the resilience of cities? The dense urban pattern is envisaged as a sustainable urban model. Small-scale settlements with controlled environmental growth, defined border relations, and controlled access can exhibit a more resilient performance. In this context, neighborhoods appear in the urban space hierarchy as units that need to be focused on and developed to be self-sufficient and to ensure the food and water security of their residents. In the face of the unstoppable increase in urbanization, crowding, and urban chaos, now is the time for the unstoppable rise of the neighborhood that promises quality of life for the future of human settlements. In this paper, the basic approaches and components that will create a self-sufficient neighborhood model are presented.

Keywords: Neighbourhood, Planning, Self-sufficient neighbourhood model.

1. GİRİŞ

COVID-19 pandemisi, yalnızca sağlık sistemlerini değil, aynı zamanda kent yaşamını ve mekânsal düzenlemeleri de derinden etkilemiştir (Akdağ, 2023; Albayrak ve Emür, 2024; Öztaş Karlı ve Çelikyay, 2020; Tekçe, 2021). Küresel düzeyde şehirlerin yoğun nüfus yapıları, yetersiz altyapı sistemleri ve toplu taşıma gibi unsurlar, pandeminin etkilerini artırmış ve bireylerin yaşam biçimlerini değiştirmeye zorlamıştır (Albayrak ve Emür, 2024; Barutçu, 2023; Sipahi, 2020; Varol ve Öksüz, 2021). Bu süreçte, kentlerdeki aşırı yoğunluk ve fiziksel mesafenin korunamaması, daha küçük ölçekli ve yerel düzeyde sürdürülebilir mahallelerin önemini ortaya koymuştur (Öztaş Karlı ve Çelikyay, 2020).

Pandemi süreci, bireylerin günlük yaşamlarını ve mekân kullanım alışkanlıklarını yeniden şekillendirmiştir (Albayrak ve Emür, 2024; Soydan 2022; Tekçe, 2021). Toplu taşımanın daha az tercih edilmesi, açık alanlara duyulan ihtiyacın artması ve yerel hizmetlere erişim kolaylığı gibi yeni gereksinimler, mahalle ölçeğinde tasarım yaklaşımlarını ön plana çıkarmıştır (Çelikyay ve Öztaş, 2019; Ünal ve Erol, 2020). Bu bağlamda, "kendi kendine yeten mahalle" konsepti, bireylerin temel ihtiyaçlarını karşılayabilecek, çevresel sürdürülebilirliği destekleyen ve toplumsal dayanışmayı teşvik eden bir model olarak karşımıza çıkmaktadır.

Literatürde "kendi kendine yeten mahalle" kavramı, doğrudan bu isimle anılmasa da benzer özelliklere sahip kentsel planlama yaklaşımları ve yerleşim modelleri ile ilişkilendirilebilir. Özellikle modern şehircilik anlayışında yer alan "15 Dakikalık Şehir" modeli, bu kavrama yakın bir perspektif sunmaktadır. 15 Dakikalık Şehir yaklaşımı, sakinlerin temel ihtiyaçlarını kısa

mesafelerde karşılayabilmesini hedeflerken, toplumsal dayanışmayı ve çevresel sürdürülebilirliği ön planda tutmaktadır (Moreno et al., 2020; Sisson, 2020). Bu model, bireylerin çalışma, eğitim, sağlık, alışveriş ve rekreasyon gibi ihtiyaçlarını kolayca karşılayabilmesi için mahalle ölçeğinde tasarlanmıştır (Allam & Jones, 2020).

Kendi kendine yeten mahalle kavramı, genellikle sürdürülebilirlik, dayanıklılık ve yerel bağımsızlık gibi ilkelerle örtüşen bir anlayışa sahiptir. Bu kavramın temelleri, modern sürdürülebilirlik yaklaşımları ve mahalle bazlı planlama modellerinden esinlenerek şekillenmiştir (Sisson, 2020). Bu çalışmada, "kendi kendine yeten mahalle" kavramı, mevcut literatürdeki benzer modellerden hareketle, mahallelerin sürdürülebilir, dayanıklı ve toplumsal dayanışmayı güçlendiren bir yaşam alanı olarak yeniden tanımlanmıştır.

Pandemi, mevcut kentsel planlama paradigmasını sorgularken, mahallelerin sürdürülebilir ve dayanıklı bir yaşam birimi olarak yeniden değerlendirilmesi gerektiğini göstermiştir. Mahalle ölçeğinde sağlanabilecek yerel ekonomi, gıda güvenliği, enerji verimliliği, sosyal dayanışma ve ulaşım gibi unsurlar, yalnızca pandemi sırasında değil, gelecekte karşılaşılabilecek diğer krizlerde de dayanıklılığı artırma potansiyeline sahiptir. Bunun yanı sıra, çevre üzerindeki baskıyı azaltmak ve karbon ayak izini küçültmek için de mahalle ölçeğinde sürdürülebilirlik yaklaşımları önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, pandemi sonrası yeni dünya düzeninde mahallelerin kentsel planlama açısından neden öncelikli hale geldiği tartışılmakta ve kendi kendine yeten mahalle modelinin bir çözüm olarak nasıl uygulanabileceği ele alınmaktadır. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, sürdürülebilir bir yaşam modeline uygun olarak tasarlanmış bir "kendi kendine yeten mahalle" önerisi ve bu modelin temel bileşenleri detaylandırılmaktadır. Pandemiyle birlikte ortaya çıkan bu yeni tasarım gereksinimi, yalnızca mevcut kentsel sorunlara çözüm sunmakla kalmayacak, aynı zamanda geleceğin dayanıklı ve yaşanabilir kentlerinin temelini oluşturacaktır.

2. KENDİ KENDİNE YETEN MAHALLE

Kendi Kendine Yeten Mahalle Modeli, sürdürülebilirlik, dayanıklılık ve yerel bağımsızlık ilkelerine dayalı bir yerleşim modeli olarak tanımlanabilir. Bu model, mahalle sakinlerinin temel ihtiyaçlarını karşılayabilecek altyapı ve kaynakları sunarken, toplumsal dayanışmayı ve çevresel uyumu önceliklendirir (URL-1). Bu çalışmada model, enerji verimliliği, gıda güvenliği, yerel ekonomi, atık yönetimi, toplumsal katılım ve erişim ve ulaşım olmak üzere altı temel bileşene dayandırılmaktadır (Görsel 1).



Görsel 1. Kendi Kendine Yeten Mahalle Modeli Bileşenleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji verimliliğinin merkezindedir. Kendine yeten mahalleler, güneş panelleri, rüzgâr türbinleri ve mikro enerji şebekeleri gibi yenilenebilir enerji altyapılarını benimseyerek enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. Bu sistemler, mahallelerin enerji maliyetlerini azaltırken çevresel etkileri de en aza indirmektedir. Enerji depolama sistemleri, sürdürülebilir enerji arzı için kritik öneme sahiptir ve enerji talebi ile üretim arasındaki dengesizliği gidermektedir (Newman vd., 2017).

Mahalle düzeyinde gıda güvenliği, bireylerin sağlıklı ve erişilebilir gıdaya sahip olmasını sağlamak için önemlidir. Topluluk bahçeleri, permakültür uygulamaları ve dikey tarım teknikleri, sınırlı alanlarda yüksek verim elde edilmesine olanak tanımaktadır. Bu yöntemler, gıda tedarik zincirine olan bağımlılığı azaltarak yerel üretimi teşvik etmekte ve mahalle sakinlerinin kendi gıda ihtiyaçlarını karşılamalarına yardımcı olmaktadır (Güneş & Karakaş, 2022).

Yerel ekonomi, mahallelerin ekonomik bağımsızlığını güçlendiren bir diğer temel bileşendir. Kooperatifler, yerel pazarlar ve küçük işletmeler, mahalle ekonomisinin temel yapı taşlarıdır. Dijital platformlar ise yerel işletmelerin işleyişini kolaylaştırmakta ve kaynakların etkin paylaşımını sağlamaktadır (Moreno vd., 2020). Bu yaklaşım, mahalle sakinleri arasında ekonomik dayanışmayı teşvik etmekte ve yerel refahı artırmaktadır.

Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması için etkili bir atık yönetimi sistemi şarttır. Kendine yeten mahalleler, ayrıştırılmış geri dönüşüm sistemleri, kompostlama ve atık azaltma stratejilerini kullanarak atık miktarını en aza indirmektedir. Geri dönüştürülebilir materyallerin toplanması ve işlenmesi, çevresel etkileri azaltırken topluluk farkındalığını artırmaktadır (Sharifi & Khavarian-Garmsir, 2020).

Toplumsal katılım, mahalle sakinlerinin karar alma süreçlerine aktif katılımını sağlamaktadır. Eğitim programları, topluluk toplantıları ve iş birliğini teşvik eden etkinlikler, bireyler arasında

ortak bir aidiyet duygusu oluşturmaktadır. Toplumsal dayanışma, sadece sosyal ilişkileri güçlendirmekle kalmamakta, aynı zamanda mahallenin genel yönetiminde etkin bir iş birliği sağlamaktadır (Rogers & Power, 2021).

Kendine yeten mahalleler, sakinlerin temel hizmetlere kısa mesafelerde erişebilmesini sağlamaktadır. Yaya dostu yollar, bisiklet altyapıları ve toplu taşıma entegrasyonu, sürdürülebilir bir ulaşım sisteminin temel bileşenleridir. Bu yaklaşım, mahallede araç trafiğini azaltarak çevresel etkiyi minimize ederken bireylerin yaşam kalitesini artırmaktadır (Moreno vd., 2020).

Bu altı bileşen, bir mahalleyi sürdürülebilir, bağımsız ve toplumsal dayanışmayı önceliklendiren bir yaşam modeli haline getirmektedir. Bu bileşenlerin başarılı bir şekilde uygulanması, sadece bireylerin yaşam kalitesini artırmakla kalmamakta, aynı zamanda çevresel ve toplumsal sürdürülebilirlik hedeflerine de katkı sağlamaktadır.

3. KENDİ KENDİNE YETEN MAHALLE MODEL ÖNERİSİ

Bu çalışmada, bireylerin yaşam kalitesini artırırken toplumsal dayanıklılık ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini bir araya getiren bir kendi kendine yeten mahalle modeli önerilmektedir. Bu model, literatür taraması, uluslararası standartlar ve başarılı örnek projelerden esinlenerek (Akyol ve Şenik, 2019; Albayrak ve Emür, 2024; Avrupa Komisyonu, 2019; Birleşmiş Milletler, 2015; Çelikyay ve Öztaş, 2019; Dirioz, 2023; Dünya Sağlık Örgütü, 2016; Güneş & Karakaş, 2022; Moreno vd., 2020; Newman vd., 2017; Sharifi & Khavarian-Garmsir, 2020; Sipahi, 2020; URL-2) geliştirilmiş olup, yerel ekonomik bağımsızlık, çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal dayanışma gibi temel değerler üzerine inşa edilmiştir. Önerilen modelin temel unsurları ve bu unsurların uygulanmasına yönelik kriterler Çizelge 1'de sunulmuştur. Model, bu kriterler doğrultusunda, sürdürülebilir bir yaşam biçimini mahalle ölçeğinde gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır.

Çizelge 1: Kendine Yeten Mahalleler için Öneri Değerlendirme Kriterleri

Kriter	Açıklama	Değer Aralığı/Öneri	Planlama ve Tasarım İlkeleri	Gereksinimler	Uygulama Adımları	Ölçüm ve İzleme Yöntemleri
Yerel Ekonomi	Mahalle ekonomisinin kendi kendine yetebilmesi için yerel işletme desteği.	Yerel üretim oranı: %50 ve üzeri	Yerel pazar alanları, kooperatif yapılar, küçük işletme teşvikleri.	Küçük işletme altyapısı, finansal destek	Yerel işletme eğitimleri, kooperatif kurulumu	Yerel işletmelerin ekonomik katkısının ölçülmesi
Gıda Güvenliği	Topluluk bahçeleri ve yerel tarım alanlarının oluşturulması.	Toplam alanın %10-15'i tarıma ayrılmalı	Dikey tarım sistemleri, topluluk bahçeleri, su etkin sulama yöntemleri.	Su kaynakları, tarım ekipmanları	Topluluk bahçelerinin inşası, eğitim programları	Yerel üretimin tüketim oranına katkısı
Enerji Verimliliği	Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı.	Enerji ihtiyacının %70-100'ü yenilenebilirlerden	Güneş panelleri, rüzgâr türbinleri, enerji depolama sistemleri.	Güneş/rüzgâr altyapısı, yatırım bütçesi	Enerji altyapısının kurulumu	Enerji tüketiminde yenilenebilir oranı
Erişim ve Ulaşım	Mahalle içinde yürünebilir mesafelerde temel hizmetlere erişim sağlanması.	Her noktadan hizmetlere erişim: 15 dakikada	Yaya ve bisiklet yolları, toplu taşıma entegrasyonu, araç trafiği sınırı.	Yaya yolları, bisiklet altyapısı	Bisiklet ve yaya yollarının inşası	Kullanıcı anketleri
Atık Yönetimi	Geri dönüşüm ve atık yönetimi sistemlerinin kurulması.	Atık dönüşüm oranı: %80 ve üzeri	Ayrıştırılmış geri dönüşüm kutuları, kompost sistemleri, atık bilgilendirme.	Geri dönüşüm altyapısı	Geri dönüşüm alanlarının oluşturulması	Atık geri dönüşüm oranı
Su Yönetimi	Su kaynaklarının etkin yönetimi ve	Su geri kazanım oranı: %50 ve üzeri	Gri su dönüşüm sistemleri, yağmur suyu toplama, su	Gri su altyapısı, yağmur suyu toplama sistemleri	Su geri dönüşüm sistemlerinin kurulumu	Su kullanım tasarruf oranı

	geri dönüşüm sistemleri.		etkin peyzaj tasarımı.			
Eğitim Alanları	Mahalle sakinlerinin eğitimi için erişilebilir alanlar oluşturulması.	Her 2.000 kişi için 1 eğitim merkezi	Okullar, yaşam boyu öğrenme merkezleri, kütüphaneler, açık derslikler.	Eğitim binaları, öğretim materyalleri	Eğitim alanlarının inşası, öğretmen atamaları	Eğitim merkezi kullanıcı oranı
Sağlık Alanları	Mahalle sakinlerinin sağlık hizmetlerine kolay erişimi sağlanması.	Her 5.000 kişi için 1 sağlık merkezi	Birinci basamak sağlık merkezleri, e-sağlık hizmet noktaları, açık spor alanları.	Sağlık merkezi, personel	Sağlık altyapısının oluşturulması	Sağlık hizmetlerinden faydalanma oranı
Kamusal Alanlar	Yaşanabilir, erişilebilir, kamusal alanların ve yeşil alanların oluşturulması.	Yeşil alan oranı: %20 ve üzeri	Parklar, meydanlar, oyun alanları, rekreasyon alanları, yaya yolları.	Yeşil alan tasarımı, ekipmanlar	Park, kamusal alan ve açık alan tasarımları	Kamusal alanların ve Yeşil alanların kullanım oranı
Sosyal Dayanışma	Toplumda sosyal bağların güçlendirilmesi.	Toplum etkinliklerine katılım: %50 ve üzeri	Sosyal merkezler, sosyal dayanışma projeleri, ortak etkinlik alanları.	Sosyal merkezlerin inşası, etkinlik bütçesi	Sosyal etkinliklerin düzenlenmesi	Etkinliklere katılım oranı
Spor ve Rekreasyon Alanları	Fiziksel aktiviteleri teşvik eden açık ve kapalı alanlar.	Toplam alanın %10'u spor tesislerine ayrılmalı	Açık spor sahaları, yürüyüş parkurları, spor salonları.	Spor altyapısı, açık alanlar	Spor tesislerinin oluşturulması	Spor alanlarının kullanım oranı
Afet Yönetimi ve Güvenlik	Afetlere dayanıklı altyapıların ve tahliye noktalarının oluşturulması.	Her mahallede en az 2 toplanma alanı	Deprem dayanıklı yapılar, acil durum planları.	Afet dayanıklı yapılar, eğitim	Toplanma alanlarının tasarımı, afet tatbikatları	Afet tatbikatlarına katılım oranı
Ekolojik Alanlar	Doğal yaşamı destekleyen ve çevresel çeşitliliği artıran alanların oluşturulması.	Toplam alanın %15'i ekolojik alanlara ayrılmalı	Yerel bitki türleriyle desteklenen yeşil koridorlar, doğal yaşam alanları.	Doğal bitki ve hayvan türleri	Ekolojik koridor tasarımı, bitkilendirme	Ekolojik alan biyoçeşitlilik oranı
Ekonomik Eşitlik	Sosyal ve ekonomik fırsatların eşit şekilde dağıtılması.	Düşük gelirli hane desteği: %10 bütçe	Sosyal konut projeleri, iş fırsatları yaratma, eşit hizmet erişimi.	Sosyal destek altyapıları, konut projeleri	Düşük gelirli aileler için destek planları	Sosyal destek oranının izlenmesi

Modelde, yerel ekonominin desteklenmesi, mahallelerin ekonomik bağımsızlığını güçlendirmek için öncelikli bir hedef olarak belirlenmiştir. Yerel üretim oranının %50 ve üzeri olması hedeflenmiş, bu doğrultuda kooperatiflerin kurulması, yerel pazarların desteklenmesi ve küçük işletmelerin teşvik edilmesi önerilmiştir. Bu yaklaşım, yerel dayanışmayı artırmak ve mahalle sakinlerinin ekonomik refahını yükseltmek amacıyla tasarlanmıştır.

Gıda güvenliği, önerilen modelde bir diğer kritik unsurdur. Mahalle düzeyinde toplam alanın %10-15'inin yerel tarım ve topluluk bahçelerine ayrılması, bireylerin taze ve sağlıklı gıdaya erişimini kolaylaştırmayı ve gıda tedarik zincirine bağımlılığını azaltmayı hedeflemektedir. Ayrıca, dikey tarım gibi yenilikçi yöntemlerle sınırlı alanlarda yüksek verim sağlanması amaçlanmıştır.

Enerji verimliliği, modelin sürdürülebilirlik hedeflerinin bir parçası olarak ele alınmıştır. Mahallelerin enerji ihtiyacının %70-100'ünün yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması öngörülmüştür. Bu doğrultuda güneş panelleri, rüzgâr türbinleri ve enerji depolama sistemleri gibi teknolojiler, enerji maliyetlerini düşürmek ve çevresel etkileri en aza indirmek için önerilmektedir.

Afet yönetimi, mahallelerin dayanıklılığını artırmak ve kriz anlarında güvenliği sağlamak için modelin önemli bir bileşeni olarak tasarlanmıştır. Her mahallede en az iki toplanma alanı oluşturulması, deprem dayanıklı yapılar ve düzenli afet eğitimleri ile birlikte uygulanabilir bir strateji olarak benimsenmiştir.

Ekolojik alanlar, mahalle sakinlerinin doğa ile iç içe bir yaşam sürmesini sağlarken, çevresel sürdürülebilirliği desteklemek amacıyla önerilmiştir. Mahalle alanının %15'inin ekolojik alanlara ayrılması ve bu alanların düzenli olarak izlenmesi, doğal yaşamın korunmasına katkı sağlayacaktır.

Modelin diğer bileşenlerinden biri olan eğitim ve sağlık hizmetleri, mahalle sakinlerinin refahını artırmayı ve toplumsal dayanışmayı güçlendirmeyi hedeflemektedir. Her 2.000 kişi için bir eğitim merkezi ve her mahallede birinci basamak sağlık hizmeti sunan bir sağlık merkezi tasarlanmıştır. Bu hizmetlerin erişilebilirliği, bireylerin hem sosyal hem de fiziksel ihtiyaçlarını karşılamayı amaçlamaktadır.

Kamusal alanların tasarımı, mahalle sakinleri arasında sosyal etkileşimi artıracak şekilde yapılmalıdır. Mahalle toplam alanının %20'sinin parklar, yeşil alanlar ve oyun alanları gibi kamusal alanlara ayrılması, bireylerin dinlenme ve rekreasyon ihtiyaçlarını karşılayacaktır.

Ulaşım ve erişim, mahalle içindeki hareketliliği desteklemek amacıyla sürdürülebilir bir şekilde ele alınmıştır. Temel hizmetlere erişimin en fazla 15 dakika içinde sağlanması, yaya dostu yollar, bisiklet altyapıları ve toplu taşıma entegrasyonu ile desteklenmektedir.

Son olarak, atık ve su yönetimi ile ekonomik eşitlik bileşenleri, modelin çevresel ve toplumsal hedeflerini tamamlamaktadır. Atık yönetimi için geri dönüşüm oranının %80 ve üzeri olması ve gri su dönüşüm sistemleri gibi su tasarrufu yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir. Ekonomik eşitlik kapsamında ise sosyal konut projeleri ve düşük gelirli hanelere yönelik destek programları ile mahalle içinde fırsat eşitliği sağlanması hedeflenmiştir.

Bu model, mahalle düzeyinde sürdürülebilir bir yaşam tarzını mümkün kılmak için önerilmiş olup, her bileşen, toplumsal dayanışmayı artırmak ve çevresel sorunları en aza indirmek için tasarlanmıştır. Çizelge 1, mahalle ölçeğinde sürdürülebilir planlama ve kendine yeten yerleşim alanları oluşturmak için bir rehber niteliği taşımaktadır. Ancak, burada belirtilen değer aralıkları ve kriterler, her mahallenin yerel özellikleri, demografik yapısı ve coğrafi koşulları dikkate alınarak özelleştirilmelidir. Çalışma sahasına özel veriler ve paydaş görüşleri, bu çizelgenin uygulanabilirliğini artırmak için önemli bir araçtır.

4. SONUÇ

COVID-19 pandemisi, kentsel planlama anlayışında önemli değişimlerin gerekliliğini ortaya koymuş, özellikle mahalle ölçeğinde sürdürülebilir ve dayanıklı yerleşim modellerinin geliştirilmesi için bir fırsat yaratmıştır. Bu çalışmada önerilen “Kendi Kendine Yeten Mahalle Modeli”, bireylerin yaşam kalitesini artırırken toplumsal dayanıklılık ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini bir arada gerçekleştiren bir yaklaşım sunmaktadır. Bu modelin başarılı bir şekilde uygulanması için yerel ekonomi, gıda güvenliği, enerji verimliliği gibi temel unsurların yanı sıra ekolojik alanlar, afet yönetimi ve sosyal eşitlik gibi daha geniş kapsamlı kriterler de dikkate alınmalıdır.

Modelde öne çıkarılan bileşenler, mahallelerin bireysel yaşam kalitesini artırmasının yanı sıra, küresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma yolunda kritik bir rol oynamaktadır. Çizelge 1’de sunulan kriterler, mahalle ölçeğinde uygulanabilir planlama ilkeleri sunarak, kentsel planlama

süreçlerinde somut bir rehber niteliği taşımaktadır. Bununla birlikte, bu kriterler her mahallenin yerel özellikleri, demografik yapısı ve coğrafi koşulları dikkate alınarak özelleştirilmelidir. Yerel dinamiklere uygun çözümler geliştirilmesi, modelin uygulanabilirliğini ve etkinliğini artıracaktır.

Bu model, yalnızca pandemi sonrası dönemde değil, gelecekte ortaya çıkabilecek çevresel, ekonomik ve toplumsal krizlere karşı dayanıklı bir yaşam alanı oluşturmayı hedeflemektedir. Ancak, önerilen bileşenlerin sahada uygulanabilirliği için yerel verilerin toplanması, paydaş görüşlerinin alınması ve sürekli bir geri bildirim mekanizması oluşturulması gerekmektedir. Özellikle saha çalışmalarından elde edilen veriler, modelin farklı bağlamlara uyarlanması ve uygulanması için önemli bir araç olacaktır.

Çalışma, sürdürülebilir mahalleler oluşturma sürecinde yenilikçi bir yaklaşım sunmakla birlikte, daha geniş ölçekli planlama süreçleriyle bütünleşmesi gereken bir çerçeve de önermektedir. Gelecekteki araştırmalar, bu modelin farklı coğrafi ve sosyo-ekonomik bağlamlardaki etkilerini değerlendirmek üzere ampirik çalışmalarla desteklenebilir. Ayrıca, önerilen kriterlerin uzun vadeli sonuçlarının izlenmesi ve modelin dinamik bir şekilde güncellenmesi, sürdürülebilir mahalle tasarımlarının başarısını artıracaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma, mahalle ölçeğinde sürdürülebilir planlamanın hem bireysel hem de toplumsal ölçekte dayanıklılığı artırabilecek bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır. Kendine yeten mahalle modeli, pandemi sonrası yeni dünya düzeninde, yaşanabilir ve dirençli şehirlerin inşasında önemli bir yapı taşı olma potansiyeline sahiptir.

KAYNAKÇA

1. Albayrak, Ç. ve Emür, S. H. (2024). COVID-19 Pandemi öncesi ve sonrası yeşil alan kullanım alışkanlıklarının değerlendirilmesi. *İdealkent*, 16(45), 1366-1402. <https://doi.org/10.31198/idealkent.1328764> (Erişim tarihi: 17.12.2024)
2. Akdağ, D., Tarihsel Süreçte Salgınların Kentsel Yaşam Kalitesi Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Kapadokya Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim, Öğretim ve Araştırma Enstitüsü, Nevşehir, 2023.
3. Akyol, D., Şenik, B. Sürdürülebilir Mahalle Ölçeğinde Yerele Özgü Bir Setifikasyon Sistemi: Trabzon Konaklı Örneği. *Artium*, 7(1), 1-11, 2019.
4. Allam, Z. and Jones, D. S. (2020). Pandemic stricken cities on lockdown. Where are our planning and design professionals [now, then and into the future]?. *Land use policy*, 97, 104805. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104805> (Erişim tarihi: 17.12.2024)
5. Avrupa Komisyonu (2019). A European Green Deal: Striving to be the first climate-neutral continent. European Commission https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (Erişim tarihi: 20.12.2024)
6. Barutçu, A., Mekansal Adaptasyonun Uygulama Alanı Olarak Covid-19 Pandemisi Sonrası Yapılı Çevre Tasarımında Öne Çıkan Kavram ve Yaklaşımlar, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2023.

7. Birleşmiş Milletler (BM). (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. United Nations. <https://sdgs.un.org/2030agenda> (Erişim tarihi: 19.12.2024)
8. Çelikyay, H. S. ve Öztaş, R. G., Sürdürülebilir kentsel gelişmede mahalle ölçeği. Mimarlık, Planlama ve Tasarım Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler (Ed. LG Kaya ve S. Abbasova), Gece Akademi, 225-238, 2019.
9. Diriöz, E.D. (2023). Auroville Eko-Köyü (Hindistan). https://tasam.org/tr-TR/Icerik/72384/auroville_eko-koyu_hindistan (Erişim tarihi: 21.12.2024)
10. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ). (2016). Urban Green Spaces And Health: A Review Of Evidence. *WHO Regional Office for Europe*. <https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2016-3352-43111-60341> (Erişim tarihi: 20.12.2024)
11. Güneş, E. ve Karakaş, T. (2022). Tarım ve gıda sistemlerinde sürdürülebilirlik yaklaşımları. *Journal of Academic Value Studies*, 8(3), 304-316. <http://dx.doi.org/10.29228/javs.63757> (Erişim tarihi: 18.12.2024)
12. Moreno, C., Allam, Z., Chabaud, D., Gall, C. and Pralong, F. (2021). Introducing the “15-Minute City”: Sustainability, resilience and place identity in future post-pandemic cities. *Smart cities*, 4(1), 93-111. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010006> (Erişim tarihi: 17.12.2024)
13. Newman, P., Beatley, T. and Boyer, H. *Resilient Cities: Overcoming Fossil Fuel Dependence*. Island Press, 2017.
14. Öztaş Karlı, R. G., Çelikyay, S. Akıllı Kentlerin Gelişiminde Covid-19 Etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (Salgın Hastalıklar Özel Sayısı)*, 321-338, 2020.
15. Rogers, D. and Power, E. (2020). Housing policy and the COVID-19 pandemic: the importance of housing research during this health emergency. *International Journal of Housing Policy*, 20(2), 177-183. <https://doi.org/10.1080/19491247.2020.1756599> (Erişim tarihi: 17.12.2024)
16. Sharifi, A. and Khavarian-Garmsir, A. R. (2020). The COVID-19 pandemic: Impacts on cities and major lessons for urban planning, design, and management. *Science of the Total Environment*, 749, 142391. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142391> (Erişim tarihi: 18.12.2024)
17. Sipahi, P. (2020). Pandemi ve kamusal mekân, yapı dergisi. <https://yapidergisi.com/pandemi-ve-kamusal-mekan/> (Erişim tarihi: 17.12.2024)
18. Sisson, P. (2020). How the ‘15-Minute City’ could help post-pandemic recovery. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-07-15/mayors-tout-the-15-minute-city-as-covid-recovery> (Erişim tarihi: 20.12.2024)
19. Soydan, S. Pandemi (Covid-19) Sonrası Tüketici Davranışlarındaki Değişim ile İlgili Bir Derleme Çalışması. *Uluslararası Yönetim ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9(18), 1-15, 2022.
20. Tekçe, Ö. Pandemi sürecinde yeniden anlam kazanan kamusal mekân ve toplumsal ilişkiler. *İdealkent, (COVID-19 Sonrası Kentsel Kamusal Mekânların Dönüşümü)*, 46-70, 2021, <https://doi.org/10.31198/idealkent.880263> (Erişim tarihi: 17.12.2024)

21. URL-1. Self-sufficient neighbourhoods, <https://knowledge-hub.circle-economy.com/frameworks/135/663> (Erişim tarihi: 20.12.2024)
22. URL-2. Walkable neighbourhoods and liveable communities: Australian urban planning guide. Australian Government. <https://www.infrastructure.gov.au/> (Erişim tarihi: 20.12.2024)
23. Ünal, S. G. ve Erol, D. (2020). Sürdürülebilir mahalle planlamasının değişimi, planlamada yeni eğilim “EkoYer” yaklaşımı ve Türkiye’de uygulanabilirliği. Planlama Dergisi, 30(1), 15-35. <https://doi.org/10.14744/planlama.2019.27676> (Erişim tarihi: 17.12.2024)
24. Varol, E., Öksüz, A. M. Kamusal Alanların Mekân Kalitesi ve Salgın İlişkisi: Covid-19 ve Etkileri. YDÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi, 3(2), 18-35, 2021.

DEVELOPMENT OF ARCHITECTURAL AND NATURE TOURISM IN SAFRANBOLU WITHIN THE CONTEXT OF SUSTAINABILITY: OPPORTUNITIES, RISKS AND RECOMMENDATIONS

Doç. Dr. Merve TUNA KAYILI

Karabük Üniversitesi, Safranbolu Başak Cengiz Mimarlık Fakültesi
mervetunakayili@karabuk.edu.tr., 0000-0002-3803-8229

Dr. Öğr. Üyesi Fuat FİDAN

Karabük Üniversitesi, Safranbolu Başak Cengiz Mimarlık Fakültesi
ffidan@karabuk.edu.tr, 0000-0001-6603-3591

Doç. Dr. Beyza ONUR

Karabük Üniversitesi, Safranbolu Başak Cengiz Mimarlık Fakültesi
beyzaonur@karabuk.edu.tr, 0000-0001-8246-9571

ABSTRACT

Safranbolu is an important cultural tourism destination listed as a UNESCO World Heritage Site, known for its historical heritage and natural beauty. The architectural richness and natural landscape of the city offer significant opportunities for sustainable tourism practices. This study examines how architectural and nature tourism in Safranbolu can be developed within the framework of sustainability principles, while also analyzing the opportunities and risks encountered in this process. Safranbolu, with its Ottoman-era houses, mosques, inns, and baths, is one of Turkey's most significant cultural heritage regions. In addition to its historical structures, the region's natural attractions, such as Tokatlı Canyon and Bulak Cave, enhance its tourism potential, especially for ecotourism and nature tourism.

The paper highlights key opportunities for the development of tourism in Safranbolu, such as the preservation of the region's unique architecture, support for cultural crafts, and the promotion of nature tourism. However, the negative impacts of mass tourism should not be overlooked. Mass tourism and inadequate infrastructure can lead to the degradation of both historical structures and natural areas. Unregulated tourism development threatens the cultural and natural fabric of the city, making sustainable tourism planning a necessity. Additionally, it is noted that the city's wooden structures are vulnerable to risks such as fires and natural disasters, necessitating preventive measures.

The study presents recommendations for sustainable tourism practices that aim to preserve Safranbolu's cultural and natural heritage while generating economic benefits. The socio-economic impacts of tourism, environmental risks, and the pressures of tourism on the city's sustainability are also examined. In this context, it is emphasized that local governments, non-governmental

organizations, and the tourism sector must collaborate to ensure balanced tourism development in Safranbolu. Strategies must be developed to protect the cultural and natural heritage, raise awareness among local communities, take precautions against risks such as fire safety, and carefully manage the potential of nature tourism. In conclusion, a careful planning and management approach is essential to both increase Safranbolu's touristic appeal and protect its cultural heritage.

Keywords: Safranbolu, Architectural Tourism, Nature Tourism, Opportunities, Risks

1. INTRODUCTION

Safranbolu is a historical city in Karabük province of Turkey and a UNESCO World Heritage Site. The city has become an important tourism center for both local and foreign tourists with its Ottoman-era architecture and natural beauties. This study aims to examine how architectural and nature tourism in Safranbolu can be developed in line with sustainability principles. Safranbolu has a rich cultural heritage with its historical houses, mosques, inns, baths and natural areas. However, managing tourism sustainably is of great importance for the protection of the city's cultural and natural heritage.

Addressing tourism in the context of sustainability is a critical requirement for both economic development and the protection of cultural heritage. The increase in tourism activities puts pressure on the carrying capacity of the city, which can lead to damage to historical buildings and natural areas (Bramwell & Lane, 1993). This study will examine sustainable development strategies in Safranbolu in terms of balanced management of tourism, local community involvement and cultural heritage conservation.

Furthermore, the opportunities offered by Safranbolu in terms of both architectural tourism and nature tourism will be discussed and how these opportunities can be utilized in a sustainable manner will be emphasized. How the tourism sector should be managed in the context of environmental and cultural sustainability and the impacts of tourism activities on the city will be discussed. Safranbolu's contribution to the local economy, its socio-cultural impacts and the challenges faced in this process will also be evaluated in this section.

Finally, the aim and scope of the study will be outlined and a literature-based review of the development of sustainable tourism in Safranbolu will be presented. In this context, existing literature on the concept of sustainable tourism, preservation of architectural heritage and integration of nature tourism will be utilized.

2. ARCHITECTURAL TOURISM IN SAFRANBOLU

The architectural tourism of Safranbolu is shaped around the city's unique structures such as historical Ottoman houses, mosques, inns and baths. Preserving these structures and bringing them to tourism increases the touristic attractiveness of the city. Safranbolu's historic houses are among

the best examples of Ottoman urban architecture with their woodwork, stone walls and traditional architectural details. However, the pressure of tourism on these buildings brings some problems in terms of their preservation and sustainable use (Ashworth & Tunbridge, 2000). The reason why architectural tourism is of great importance in Safranbolu is that the historical fabric of the city is intact. However, these structures are subject to erosion and deterioration over time due to both natural factors and tourism pressure. For this reason, various measures have been taken to protect historical buildings in Safranbolu. Projects carried out with the support of UNESCO ensure that these buildings are restored and preserved in a sustainable manner. However, the pressure of mass tourism accelerates the wear and tear on these buildings (Dogan, 1989). The sustainability of architectural tourism is closely related to both the preservation of buildings and the role of local people in this process. The participation of local people in architectural tourism activities enables them to contribute both to economic development and to the protection of cultural heritage. In this context, the role of local governments in managing tourism is of great importance (Akman, 2010). The historical buildings in Safranbolu should be preserved not only as a tourist attraction but also as a living cultural heritage. The management of architectural tourism in Safranbolu requires sustainable tourism strategies to alleviate tourism pressure on historic buildings. These strategies may include limiting visitor numbers, ensuring regular restoration of historic buildings, and reducing the impacts of mass tourism. At the same time, allocating a portion of tourism revenues to restoration and conservation projects can also support the sustainability of architectural tourism (Worrell & Appelbaum, 2012).

3. NATURE TOURISM IN SAFRANBOLU

The opportunities offered by Safranbolu in terms of nature tourism are shaped around the unique natural beauties of the region. Tokatlı Canyon, Bulak Cave and the surrounding natural areas constitute a great center of attraction for nature lovers. Ecotourism is a type of tourism that provides both environmental protection and economic benefits for local communities in the context of sustainable nature tourism (Honey, 2008). Although Safranbolu has great potential for nature tourism, this potential needs to be carefully managed and sustainable strategies need to be developed to protect nature. Ecotourism is a type of tourism that encourages the participation of local people and supports the sustainable use of environmental resources. In this context, it is possible for nature tourism activities in Safranbolu to provide economic benefits to local communities by protecting the ecosystems in the region. As areas such as Tokatlı Canyon become a tourist attraction, tourism pressure increases in these areas and negative impacts on the ecosystem occur (Weaver, 2001). Therefore, nature tourism needs to be managed effectively. The arrangements to be made in nature tourism areas should be planned by taking into account the carrying capacity of these areas. In addition, education programs and awareness campaigns should be organized to increase the environmental awareness of visitors. Local governments should take strict measures to protect natural areas while promoting nature tourism in these areas. In particular, controlling the number of tourists is of great importance to protect the ecological balance of the

region (Kiper, 2013). Nature tourism in Safranbolu can make a significant contribution to the sustainable development of the region. However, in this process, taking environmental protection measures and managing ecosystems in a sustainable manner are essential for the successful continuation of nature tourism. Developing nature tourism activities without harming nature will ensure that the region maintains its tourism attractiveness in the long term. In addition, the active role of local people in this process will increase the social and economic benefits of nature tourism.

4. OPPORTUNITIES IN SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT

Safranbolu is a cultural and touristic center recognized not only in Turkey but also worldwide for its architectural and natural beauty. Therefore, it offers many opportunities for the development of sustainable tourism. Both the architectural heritage and natural richness of Safranbolu form the basis of these opportunities. In this section, Safranbolu's opportunities for sustainable tourism will be examined in detail. Architectural and Natural Integration: Safranbolu has a structure that can integrate both cultural and natural tourism. Its Ottoman-era houses, mosques and other buildings offer visitors a historical atmosphere, while natural sites such as Tokatlı Canyon and Bulak Cave offer unique experiences for nature lovers. Integrating these two different types of tourism can enrich the experiences of tourists visiting Safranbolu and further increase the tourism potential of the city. In the context of sustainable development, architectural and nature tourism can be evaluated together and both types of tourism can be developed in a balanced manner (Throsby, 2010).

Sustainable management of Safranbolu's tourism potential can have a positive impact on the local economy. Tourism revenues can ensure the protection and development of both small businesses and local handicrafts in the city. Preserving traditional crafts and handicrafts can nurture tourism as part of the region's cultural heritage. Integrating these crafts with tourism can help Safranbolu become a sustainable tourism destination. In addition, encouraging the participation of local people in tourism activities will ensure that economic development is shared equitably (Telfer & Sharpley, 2008).

Safranbolu offers significant opportunities for ecotourism and nature tourism. The protection of natural areas and the development of ecotourism activities support environmental sustainability. Nature tourism raises the environmental awareness of local people and contributes to the protection of the region's natural resources. Nature tourism can also play an educational role so that tourists do not harm the ecosystem of the region while exploring nature (Honey, 2008).

Promoting sustainable architectural practices can contribute to the preservation of historical buildings in Safranbolu, while at the same time making modern buildings more environmentally friendly. Green building certifications (such as LEED) can create a sustainable construction policy in Safranbolu by minimizing the environmental impact of new buildings and restoration projects. Such practices would contribute both to the preservation of the city's historic fabric and to

increasing energy efficiency (Smith, 2006). In conclusion, the development of sustainable tourism in Safranbolu brings with it opportunities to contribute to the local economy while preserving the architectural and natural values of the region. In order to make the best use of these opportunities, local governments, tourism sector and non-governmental organizations should work in cooperation. Furthermore, a tourism strategy that integrates both the architectural and natural tourism values of Safranbolu should be developed.

5. RISKS AND CHALLENGES

Safranbolu's tourism potential offers a great opportunity in terms of the city's cultural and natural heritage, but also brings with it various risks and challenges. These risks are mass tourism and infrastructure problems, damage to environmental values, failure to protect historical structures, pressures on the local population and fire and natural disaster risks.

Mass Tourism and Infrastructure Problems: Mass tourism can increase the pressure on historical and natural areas and lead to damage to these areas. Popular tourist destinations such as Safranbolu may find it difficult to cope with the excessive number of tourists, especially during periods of high tourist intensity. This situation may cause excessive weathering and environmental degradation on historical buildings (Dogan, 1989). In addition, the increase of tourism in places where infrastructure is insufficient can bring environmental and social challenges such as excessive use of water resources, waste management problems and traffic congestion.

Damage to Environmental Values: The opportunities offered by Safranbolu in terms of nature tourism may also pose environmental risks. In particular, natural areas such as Tokatlı Canyon and Bulak Cave may lose their ecological balance under extreme tourism pressure. Sustainable tourism management strategies should be developed for the protection of such natural areas. Otherwise, irreversible damages may occur on the ecosystem (Weaver, 2001).

Failure to Protect Historical Structures: Ottoman-era architectural structures located in Safranbolu face risks such as natural disasters, fire and abrasion. In particular, the protection of wooden structures against fire is a great challenge. In addition, the erosion of these structures over time and the high maintenance costs make it difficult to preserve the historical texture (Worrell & Appelbaum, 2012). It is necessary to take measures such as regular maintenance, restoration and fire safety in order to protect these structures.

Pressures on the Local Population: The development of tourism can create various social and economic pressures on the local population. The high number of tourists can negatively affect the living standards of the local population and lead to the loss of traditional lifestyles in the region. In addition, local people who do not benefit from tourism revenues in a fair way may develop a negative attitude towards the development of tourism (Sharpley, 2009). Therefore, it is important that tourism activities are carried out in harmony with the local population and that they benefit from economic development.

Fire and Natural Disaster Risk: The fire risk of wooden structures in Safranbolu poses a great threat to historical structures. In addition, the fact that the region is vulnerable to natural disasters makes it difficult to protect both architectural and natural areas. If fire safety measures are not taken, a large part of the architectural heritage in Safranbolu may be irretrievably damaged (Worrell & Appelbaum, 2012). As a result, the sustainable development of tourism in Safranbolu depends on managing these risks. The management of mass tourism, solving infrastructure problems and reducing environmental risks will ensure that the region retains its tourism potential in the long term.

6. RECOMMENDATIONS FOR SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT

Both the architectural and natural values of Safranbolu should be managed in an integrated manner as complementary tourism elements. Balanced management of tourism will contribute to the protection of both cultural heritage and natural areas. In this context, strategic tools such as sustainable tourism planning and carrying capacity assessment should be used (Butler, 1999). In particular, limiting the number of visitors will support the preservation of both the architectural and natural fabric of the region.

Local governments play an important role in the development of sustainable tourism in Safranbolu. Local governments should make the necessary arrangements for the effective management of tourism and ensure that the economic opportunities brought by tourism are shared fairly with local people. At the same time, some of the revenues from tourism should be allocated to projects for the protection of cultural heritage (Hall, 2008).

The success of sustainable tourism is directly related to the participation of local people in this process. In Safranbolu, programs that encourage the active participation of local people in tourism activities should be developed. This participation allows local people to gain economically, while at the same time contributing to the protection of cultural heritage. Local people having a say in the management of tourism will prevent tourism from negatively affecting the social structure in the region (Hall, 2008).

Increasing environmental awareness in Safranbolu is critical for the development of sustainable nature tourism. Environmental education programs should be organized for visitors and ecotourism activities should be encouraged. All kinds of arrangements to be made in nature tourism areas should be planned to protect the ecological balance of the region (Weaver, 2001).

Sustainable building practices and restoration projects should be encouraged in Safranbolu. Historic buildings should be restored using modern architectural techniques and energy efficiency should be increased. At the same time, environmentally friendly practices such as green building certifications should be used in the construction of new buildings (Smith, 2006).

Safranbolu's wooden architecture is vulnerable to fire risk. Therefore, it is necessary to develop fire safety systems and emergency plans against fire risk. In addition, necessary measures should be taken to protect the region against natural disasters (Worrell & Appelbaum, 2012).

7. CONCLUSION AND SUGGESTIONS

Safranbolu is one of the most important cultural and natural tourism centers of Turkey. This study examines how Safranbolu's architectural and natural values can be preserved and developed in the context of sustainable tourism. Managing tourism in a sustainable manner is critical for the protection of both cultural heritage and natural areas.

Safranbolu has a great tourism potential with its unique architecture and natural beauty. However, careful planning is required to protect and sustainably develop this potential. Carrying capacity needs to be taken into account and visitor management strategies need to be developed to avoid the negative impacts of mass tourism and to prevent the erosion of historic buildings (Bramwell & Lane, 1993). At the same time, protecting natural areas and supporting ecotourism activities will contribute to Safranbolu's environmental sustainability (Weaver, 2001).

Within the scope of Safranbolu's sustainable tourism strategies, the participation of local people in tourism activities should be encouraged. Fair distribution of tourism revenues will contribute to the local economy and support social sustainability (Telfer & Sharpley, 2008). At the same time, taking measures such as reducing environmental risks and fire safety will contribute to the protection of the cultural and natural values of the region. In conclusion, a sustainable development of tourism in Safranbolu is possible through both the protection of cultural heritage and environmental sustainability. An integrated tourism strategy needs to be adopted for a more balanced and sustainable management of tourism in Safranbolu in the future.

REFERENCES

- Akman, C., Osmanlı mimarisi ve turizme etkisi, *Türk Kültürü Araştırmaları Dergisi*, 48(2), 125-138, 2010.
- Bramwell, B., & Lane, B., Sustainable tourism: An evolving global approach, *Journal of Sustainable Tourism*, 1(1), 1-5, 1993.
- Butler, R. W., Sustainable tourism: A state-of-the-art review, *Tourism Geographies*, 1(1), 7-25, 1999.
- Dogan, H. Z., Forms of adjustment: Sociocultural impacts of tourism, *Annals of Tourism Research*, 16(2), 216-236, 1989.

- Kiper, T., Türkiye’de doğa turizminin gelişimi ve potansiyeli, *Turizm Araştırmaları Dergisi*, 22(1), 78-94, 2013.
- Ashworth, G. J., & Tunbridge, J. E., *The Tourist-Historic City: Retrospect and Prospect of Managing the Heritage City*, Pergamon, 2000.
- Hall, C. M., *Tourism Planning: Policies, Processes and Relationships*, Prentice Hall, 2008.
- Honey, M., *Ecotourism and Sustainable Development: Who Owns Paradise?*, Island Press, 2008.
- Sharpley, R., *Tourism Development and the Environment: Beyond Sustainability?*, Earthscan, 2009.
- Smith, M. K., *Tourism, Culture and Regeneration*, CABI Publishing, 2006.
- Telfer, D. J., & Sharpley, R., *Tourism and Development in the Developing World*, Routledge, 2008.
- Throsby, D., *The Economics of Cultural Heritage*, Cambridge University Press, 2010.
- UNESCO, *World Heritage and Tourism in a Changing Climate*, <https://whc.unesco.org/en/news/1359/> (Accessed: 22.12.2024).
- Worrell, W. A., & Appelbaum, B., *Architectural Conservation: Principles and Practice*, Routledge, 2012.
- Weaver, D., *The Encyclopedia of Ecotourism*, CABI Publishing, 2001.

SAFRANBOLU'DA TURİZMİN GELİŞTİRİLMESİNE YÖNELİK DOĞAL MİRAS POTANSİYELLERİNİN ANALİZİ VE ÖNERİLER

Dr. Öğr. Üyesi Fuat FİDAN

Karabük Üniversitesi, Safranbolu Başak Cengiz Mimarlık Fakültesi
ffidan@karabuk.edu.tr, 0000-0001-6603-3591

Doç. Dr. Beyza ONUR

Karabük Üniversitesi, Safranbolu Başak Cengiz Mimarlık Fakültesi
beyzaonur@karabuk.edu.tr, 0000-0001-8246-9571

Doç. Dr. Merve TUNA KAYILI

Karabük Üniversitesi, Safranbolu Başak Cengiz Mimarlık Fakültesi
mervetunakayili@karabuk.edu.tr., 0000-0002-3803-8229

ÖZET

UNESCO Dünya Miras Listesi'nde yer alan Safranbolu kenti, somut ve somut olmayan kültürel miras değerlerinin yanı sıra kanyon, mağara, nehir vadisi, dağ, orman gibi doğal miras değerlerine de sahiptir. Kentin kendine özgü jeolojik yapısı, farklı yükseklik ve derinlikte doğal oluşumların ortaya çıkmasını sağlamış; kent biçimlenişinde ve yerleşim alanlarının konumlandırılmasında önemli etken olmuştur. Karadeniz ve karasal iklim özelliği gösteren sahada yer alan Safranbolu, iklimsel farklılık ve topografik hareketlere bağlı mikroklimatik özelliği sayesinde flora ve fauna çeşitliliği açısından zengindir. Ancak bu doğal değerlerin turizmin geliştirilmesi bağlamında yeterince kullanılmadığı görülmektedir. Kentte tarihi yapılara odaklanan bir turizm anlayışı hâkim olup, turizm çeşitliliği azdır. Bu durum ziyaretçilerin günlük konaklama sürelerini düşürmekte ve yılın sadece belirli aylarında tercih edilmeyi beraberinde getirmektedir. Ayrıca bu dönemlerde geleneksel doku üzerinde yoğun kullanım baskısı da oluşmaktadır. Turizmde çeşitlenmeye gidilmesi neticesinde kaynaklar arasında kullanım dengesinin kurulması, turizmin tüm yıla yayılması, konaklama sürelerinin uzatılması, turist sayısının artırılması ve ekonomik katkının geniş alanlara yayılması sağlanabilecektir. Bu noktada alternatif turizm önem kazanmaktadır.

Jeolojik miras niteliğindeki kanyonlar Safranbolu'da öne çıkan doğal oluşumlardandır. Tarihi yapılar yer yer kanyonun üzerine veya kenarına konumlandırılmıştır. İç içe geçen bu tarihi ve doğal miras değerleri bir bütün olarak kentin kimliğini ve kültürel peyzajını tanımlamaktadır. Hiking, trekking, kampçılık, doğa fotoğrafçılığı, yaban hayatı gözlemleme, su sporları, kaya tırmanışı vb. birçok aktivitenin yapılabileceği kanyonlar ilgi çekici özelliklere sahiptir. Bildiride, Safranbolu'da turizmin geliştirilmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur. Bu bağlamda kanyonların potansiyelleri ortaya koyulmuş, turizmde etkin bir şekilde değerlendirilebilmeleri için stratejiler belirlenmiştir. Çalışmada, kanyonlar tekil ölçekte ele alınmamış, kültürel miras yapı ve alanlarıyla ilişkilendirilerek bütüncül yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu kapsamda üst ölçekli gezi rotaları da önerilmiştir. Farklı turizm türlerinin birbirlerini besleyeceği ve destekleyeceği bu anlayış sayesinde kendine özgü turizm

destinasyonunun güçlendirilmesinin yanı sıra mekânsal gereksinimlerin karşılanmasında mevcut miras potansiyelleri değerlendirilebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Turizm, Safranbolu, Kanyon, Tarihi Doku, Doğal Miras

1. GİRİŞ

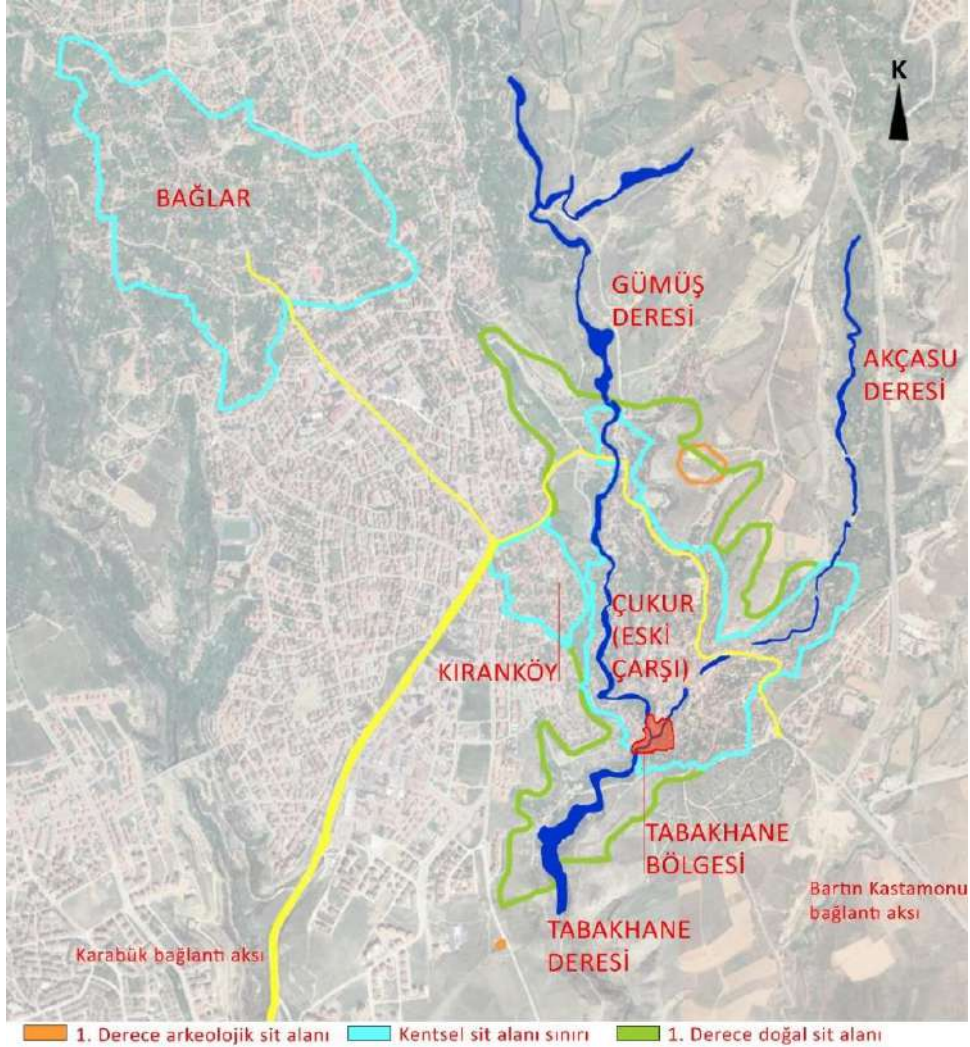
Bilinen tarihi MÖ 3000 yıllarına kadar giden ve Paphlagonia sınırları içinde yer alan Safranbolu'da sırası ile Hititler, Frigler, Lidyalılar, Persler, Helenistik Krallıklar, Romalılar, Selçuklular, Çobanoğulları, Candaroğulları ve Osmanlılar egemenlik kurmuştur [1]. Perslerden ve Helenistik dönemden sonra Roma ve Bizans çağlarında da yoğun bir yerleşimin olduğu Safranbolu çevresi incelendiğinde; tümülüsler, kaya mezarları, duvar kabartmaları, Roma tapınağı gibi unsurlar bölgenin tarihi önemini göstermektedir [2]. Günümüze ulaşabilen tipik bir Osmanlı şehri olan Safranbolu, geleneksel dokusuyla döneminin mimarisini, yaşam biçimini, ekonomisini, kültürünü yansıtmaktadır. Sahip olduğu değerler bütünüünün korunmasına yönelik 1985 yılında kentsel sit alanı ilan edilmiş, 1991 yılında koruma imar planı uygulamaya sokulmuştur.

1994 yılında UNESCO Dünya Miras Listesi'ne dahil edilmesi ile Safranbolu'daki koruma çalışmaları daha da önem kazanırken turizme yönelik yatırımların artması da sektördeki hareketliliği olumlu etkilemiştir [3]. Kazandığı statü ve sahip olduğu miras değerleri ile bir turizm kentine dönüşen Safranbolu'da turizmle ilgili plansız gelişmeye bağlı sorunlar da mevcuttur. Koruma-kullanma dengesini göz ardı eden uygulamalar bazı somut değerlerin zarar görmesine neden olmuştur/olmaktadır. Sivil mimari örneklerinin bir kısmına odaklanan turizm anlayışı, bunların yoğun kullanımını ve turistik çekiciliğin sınırlı kalmasını beraberinde getirmektedir. Bu noktada kentteki doğal miras gibi diğer potansiyellerin de bütüncül yaklaşımlarla değerlendirilmesinin önemi ortaya çıkmaktadır. Çalışmada bu potansiyellere dikkat çekilerek koruma-kullanma-yaşatma dengesi içerisinde turizme entegre edilmelerine yönelik önerilerde bulunulmuştur. Buradaki amaç, kentte turizmin geliştirilmesi ve turizm kaynaklı yaşanan bazı sorunların çözülmesi için kullanılabilir alternatif yöntemler sunmaktır.

2. SAFRANBOLU KENTİNDEKİ TARİHİ YERLEŞİM BÖLGELERİ

Eski Çarşı, Kıranköy ve Bağlar tarihi yerleşimlerine sahip Safranbolu, özgünlük ve bütünlük ana ölçütlerini sağlaması neticesinde 1994 yılının Aralık ayında UNESCO Dünya Miras Listesi'ne alınmıştır [4]. Bu bölgelerde farklı imparatorlukların etkilerine rastlanmaktadır. Bağlar ve Eski Çarşı Selçuklu ve Osmanlı sürekliliğini gösterirken, Kıranköy'de Roma-Bizans-Osmanlı etkisi görülebilmektedir. Safranbolu'nun iyi korunmuş konakları ve kent dokusu, Osmanlı'da Müslüman ve Rum-Ortodoks aile ve sosyal yaşamıyla ilgili önemli bilgiler de vermektedir [5]. Safranbolu, Anadolu konut dokusunun özellikle de Osmanlı kentini var eden nüvelerin bulunduğu bir merkez olmaya günümüzde de devam etmektedir. Merkezinde han, hamam, cami, türbe, çeşme, güneş saati, saat kulesi, arasta, çarşı gibi çeşitli kamusal işlevler bulunmaktadır.

Safranbolu tarihi dokusunda yerleşimlerin ve binaların konumlandırılmasında çevrenin topografik özellikleri ve iklim şartları önemli etken olmuştur. Üretim ve ticaret fonksiyonları ile önem kazanmış Çarşı bölgesi, dik yamaçlara sahip, Akçasu ve Gümüş derelerinin geçtiği ve birleştiği vadi içinde yer almaktadır (Görsel 1). Burada, kanyon duvarlarının rüzgârlara set olması ve soğuğa korunaklı konumlanma nedeniyle konutlar daha çok kış ayları için tercih edilmiştir (Görsel 2). Yazlık yerleşim yeri olarak ise yüksek rakımdaki, rüzgârlara açık ve serin Bağlar bölgesi kullanılmıştır. Çarşı (Çukur) ve Bağlar bölgeleri arasındaki Kıranköy’de ise mübadele dönemine kadar Rum azınlıklar yaşamıştır. Buradaki evlerde bulunan şaraphaneler yörede bağcılığın gelişmiş olduğu göstermektedir. Sıkışık yapılaşma karakteri gösteren Çarşı’nın aksine geniş bahçelere sahip Bağlar bölgesinde üzüm yetiştiriciliği ön plana çıkmıştır.



Görsel 1. Safranbolu’da Bağlar, Kıranköy, Eski Çarşı ve Tabakhane bölgesinin konumlanması



Görsel 2. Mimari ve doğal miras ilişkisi (Eski Çarşı)

Günümüzde Kıranköy ve Bağlar'daki geleneksel yapıların büyük çoğunluğunun özgün işlevi devam ederken, Eski Çarşı'da turizm odaklı yaklaşım ve dönüşümler söz konusudur. Turizm, tarihi yapıların yaşatılarak korunması anlayışına hizmet edebilen bir araçtır. Ancak bu yaklaşımlarda koruma-kullanma dengesinin iyi sağlanması önemlidir. Turizm planlama ve uygulamalarında, sadece ekonomik çıkarlara odaklanmak yerine korumanın çok boyutlu yönlerini referans alan doğru stratejilerle miras değerlerini özgünlük ve bütünlüğü tehdit etmeden sürdürülebilir kılmak temel amaç olmalıdır.

3. SAFRANBOLU'DA TURİZM BAĞLAMINDA YAŞANAN SORUNLAR

Tarihi çevreyi korumaya yönelik turizm uygulamaları kent gelişiminin yanı sıra ekonomik, sosyal, fiziksel, toplumsal açıdan gelişmiş çevreyi oluşturmada, doğal ve kültürel değerlerin korunması, yaşatılması, değerlendirilmesi ve tanıtılmasında teşvik edici bir rol üstlenmektedir [6]. Tarihi zenginliğe ekonomik kaynak olarak bakma ihtiyacı nedeniyle kentlerde fiziki doku ve biçim ön plana çıkmaktadır. Oysaki kentler için fiziksel özellikler tek varlık olmayıp, gelenekler, beceriler ve yerel kültürel nüanslar yerlerin çekiciliğine ve kalitesine binalar kadar hizmet etmektedir [7]. Safranbolu'da turizmin yoğunlaştığı Eski Çarşı bölgesinde fiziki dokunun yerel kullanıcıları ile korunamama durumlarının yaşanması yerel değerlerin anlamını kaybetmesi ve mekânın tüketimi tehlikesini de beraberinde getirmektedir [8]. Konakların hızla otele dönüştürülme sürecinin yaşandığı kentte, ziyaretçilerin kalma sürelerinin ve otel doluluk oranlarının azlığına bakıldığında ihtiyaç fazlası dönüşümlerin gerçekleştirildiği söylenebilir. Bu duruma bağlı birbirleriyle rekabete giren işletmelerin bazılarının çözüm yolu olarak konaklama ücretini düşürmek için hizmet kalitesinden ödün verme yöntemini kullanması nitelik kaybına da neden olmaktadır.

Safranbolu'da belirli bölge ve yapıya indirgenmiş bir kültürel turizm anlayışı hâkimdir. Daha çok Eski Çarşı'nın merkezinde sınırlı sayıdaki alan ve yapının gezilmesine odaklanan turizm faaliyetleri bu miras değerlerinin aşırı kullanımına neden olmakta ve buna bağlı eskime, aşınma, yıpranma gibi zarar görme tehlikeleri yaratmaktadır. Ayrıca kısıtlı alandaki bu aşırı yoğunlaşma

trafik sıkışıklığı da oluşturmakta, yerel kullanıcıların erişim ve ulaşımını engellemektedir. Kentin dışında kalan yakın mesafedeki doğal miras alanlarına şehir içi toplu taşıma hizmetinin gelişmemiş olmaması da çelişkili bir durumdur.

Eski Çarşı'daki birçok kültürel miras değeri gezi rotalarının dışında bırakılmaktadır. Safranbolu Turizm Danışma Bürosunun gezi programı listesinde kentin geçmişteki en önemli iş kolu dericiliğe ait üretim mekânlarının olduğu Tabakhane bölgesinin yer almaması buna bir örnektir [9]. Benzer şekilde kentin diğer geleneksel yerleşim bölgeleri olan Bağlar ve Kıranköy'de rotalara dahil edilmemektedir. Bu durum neticesinde ziyaretçiler kentin diğer tarihi bölgelerini ve kültürel değerlerini deneyimleyememekte ve kimlik bileşenlerinin bütüncül okumasını yapamamaktadır.

Safranbolu'da turizmdeki önemli sorunlardan birisi de gününbirlik ziyaret ve kısa süreli konaklama oranının fazla olmasıdır. Safranbolu'nun 2023 yılı konaklama istatistiklerine göre ortalama kalış süresi 1,32 gündür [10]. Ayrıca kentte turizm yıl içine homojen şekilde dağılmamaktadır. Ziyaretçiler Safranbolu'ya geliş için büyük çoğunlukla yaz aylarını tercih etmektedir. Bu durumların oluşmasındaki en büyük etkenlerden biri de turizmde çeşitlenmeye gidilmemesidir. Turizm faaliyetlerinde genellikle mimari mirasa odaklanılmakta, kültürel peyzajın önemli bileşeni olan doğal miras potansiyelleri yeterince değerlendirilmemektedir.

4. SAFRANBOLU'DA TURİZMİN GELİŞTİRİLMESİNE YÖNELİK DOĞAL MİRAS POTANSİYELLERİ

Safranbolu somut ve somut olmayan kültürel miras değerlerinin yanı sıra birçok doğal miras değerine de sahiptir. Bunlar bir bütün olarak kentin kimliğini tanımlamaktadır. Kentteki doğal miras değerleri; mağaralar (Bulak, Hızar, Ağızkara), kanyonlar (Tokatlı, Sakaralan, Sırçalı, Düzce, Gümüş, Akçasu), yaylalar (Uluyayla, Sarıçiçek), kayalıklar (Kadıbükü Köyü, Aşağı Dana Köyü), dereler (Akçasu, Gümüş, Tabakhane, Bulak), dağlık sahalar ve ormanlık alanlar olarak sıralanabilir.

Türkiye'de Antalya'dan sonra en fazla kanyon Kastamonu ve Muğla illeri ile birlikte Karabük'te yer almaktadır [11]. Bunların çoğu Safranbolu ve civarında bulunmaktadır. Bilinenlerin dışında jeolojik hareketlere bağlı olarak çeşitli noktalarda oluşmuş bağımsız yapıda birçok ufak kanyon yarıkları da vardır. Tokatlı, Akçasu ve Gümüş kanyonları birbirleriyle birleşmektedir. Benzer şekilde Sırçalı, Düzce ve Sakaralan kanyonları da kendi içinde bağlanmaktadır. Doğal oluşumların kendine özgü biçimlenişleri yapay çevreden farklılaşmalarını sağlayarak ilgi çekici özellik de kazandırmaktadır.

Safranbolu'da plato düzlüklerinin üzerinde yer alan yüksek dağ ve tepelik alanlar, gür ve geniş ormanlık bölgeleri meydana getirmektedir [12]. Kent, Karadeniz ve İç Anadolu iklimi arasında geçiş kuşağında olması sebebiyle iklim çeşitliliğine bağlı olarak flora ve fauna açısından zengindir. Ayrıca kanyonlarında da kendi mikroklimasını yarattığı için bitki çeşitliliği fazladır.

Safranbolu'nun önemli özelliklerinden biri de tarihi doku ve doğal miras değerlerinin çoğu noktada iç içe veya birbirlerine yakın konumlanmasıdır. Eski Çarşı'nın içinden geçen kanyonun üzerinde veya kenarında tarihi yapılar yer almaktadır. Doğal oyuklar ve içinden su geçen tarihi

yeraltı geçitleri yatay ve düşeyde kentle bağlanmaktadır (Görsel 3). Bu yakın ilişki turizmle ilgili geliştirilecek bütüncül öneriler için önemli potansiyeller taşımaktadır.



Görsel 3. Eski Çarşı'daki yer altı geçidi ve doğal oyuk [13]

Kentin farklı miras türlerini barındırması turizm çeşitliliğinin sağlanmasını kolaylaştıracaktır. Eski Çarşı'nın çeperinde, Akçasu ve Gümüş derelerinin birleştiği alanda konumlanan Tabakhane bölgesi endüstri mirası özelliğindedir (Görsel 1). Bölgede deri üretiminin yoğun olarak yapıldığı döneme ait 84 adet imalathane ve üretimle türemiş kahvehane, cami, hamam gibi yapılardan günümüze yaklaşık 40'ı ulaşabilmiştir. Bunların birçoğu atıl durumdadır (Görsel 4). Kanyon duvarlarının içerisindeki oyuklar deri üretimine hizmet eden ışık mekânları olarak kullanılmıştır. Bu durum doğal peyzajla üretimin işlevsel olarak bir aradalığına örnektir. Bölgedeki kullanılmayan yapılar kanyon içinde geliştirilecek rotalara hizmet edebilecek mekânsal potansiyeller barındırmaktadır.



Görsel 4. Tabakhane bölgesinde atıl durumdaki üretim mekânları

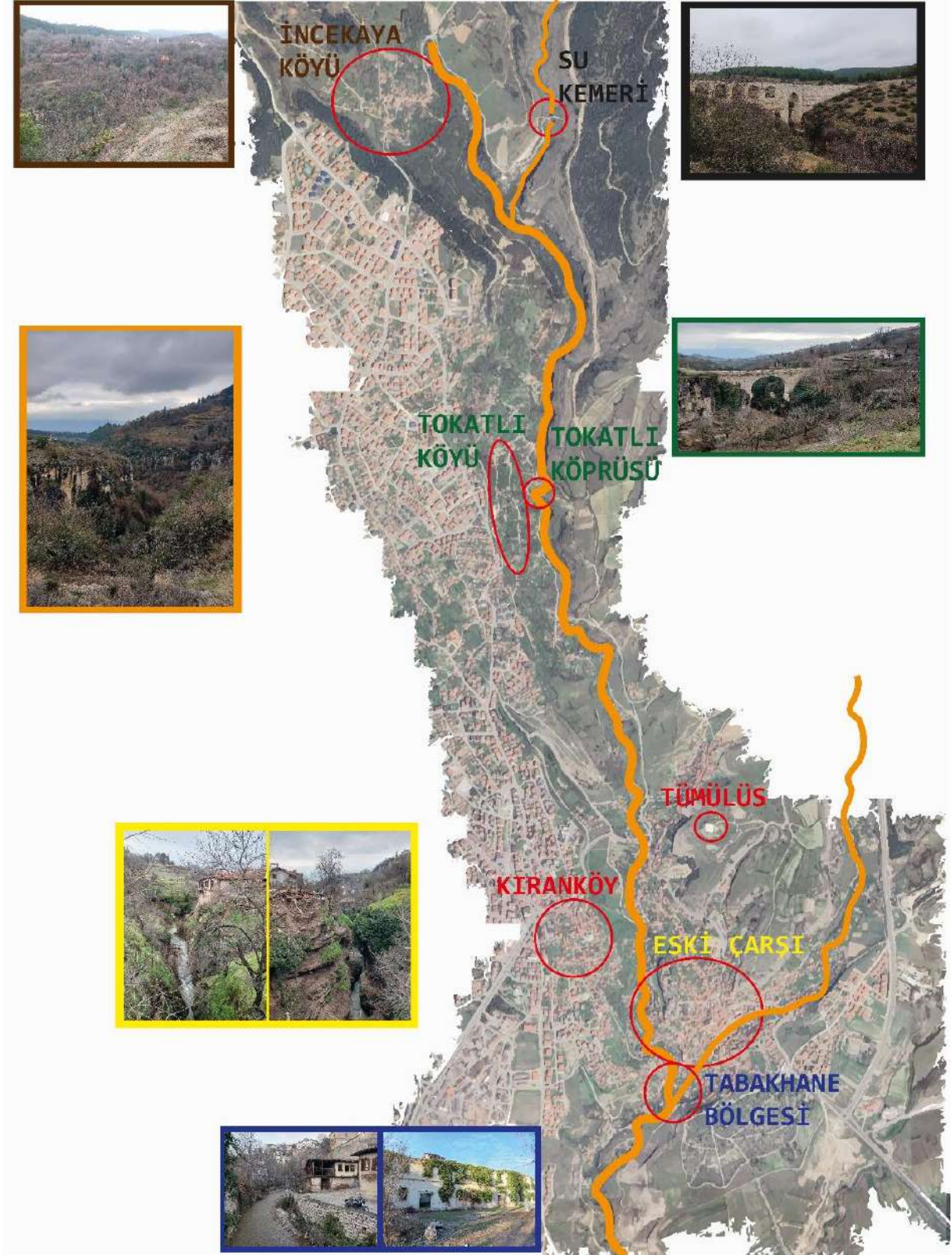
Doğal miras kapsamının dar bir yelpazede düşünülmesi, doğal mirasın somut olmayan niteliklerinin göz ardı edilmesi, kültürel mirasın ve su mirasının yalnızca korunmasına ve kurtarılmasına odaklanması, bu alanların sürdürülebilirliklerini engellemektedir [14].

5. ÖNERİLER

Safranbolu'nun sahip olduğu doğal değerlerin koruma-kullanma dengesi içerisinde turizme kazandırılması kentte bu sektörde yaşanan bazı sorunların çözümü noktasında destek olacaktır. Bu kapsamda kentin doğal miras potansiyelleri değerlendirilerek jeoturizm, ekoturizm, kanyon turizmi gibi alternatif turizm türleri geliştirilmelidir. Doğal değerler arasında rotalar oluşturularak buraların görülebilmesi ve deneyimlenebilmesi sağlanmalıdır. Özellikle kanyonların birbirleri ile bağlanabilme özelliğinden yararlanılarak bütüncül rotaların elde edilebilmesi için önemli fırsatlar sunmaktadır. Buralar; trekking, kampçılık, doğa fotoğrafçılığı, hiking, yaban hayatı gözleme, su sporları, kaya tırmanışı vb. aktiviteler için elverişlidir.

Safranbolu'da sınırlı sayıda mimari mirası içeren mevcut gezi rotaları genişletilmelidir. Bu bağlamda Tabakhane, Kıranköy ve Bağlar bölgeleri turistik amaçlı gezi programlarına dahil edilmelidir. Ayrıca kentteki farklı miras türlerini (Kentsel miras, doğal miras, endüstri mirası, arkeolojik miras gibi) içeren rotaları birbirine entegre ederek kent kimliğinin bütüncül okumasının yapılabilmesi imkânı artırılmalıdır. Bu miras türlerinin birbirine yakın konumlanma özelliğinden faydalanılarak turizme hizmet edecek mekânsal ihtiyaçların karşılanmasında birbirlerini işlevsel olarak beslemeleri de sağlanmalıdır. Destinasyonun geliştirilmesine ve turistik çekiciliğin artırılmasına yönelik benzer/farklı türdeki turistik alanların üst ölçekte bütünleşmelerini sağlamak önemlidir. Bu kapsamda Karabük ölçeğinde miras alanlarını birbirine bağlayacak bütüncül gezi rotası oluşturulmalıdır.

Çalışmada, su kemerinin olduğu alandan başlayıp Tabakhane bölgesine erişen bir gezi güzergahı önerisinde bulunulmuştur (Görsel 5). Tokatlı, Gümüş ve Akçasu kanyonlarının içinden geçen yaya parkuru üzerinde geleneksel köyler (İncekaya ve Tokatlı köyler), tarihi köprüler, Eski Çarşı yerleşimi ve deri üretim bölgesi yer almaktadır. Bu kültürel değerler bütünü doğa turizmi için gelen ziyaretçiler tarafından görülüp deneyimlenebilecektir. Ayrıca mekânsal gereksinimler (konaklama, yeme içme, alışveriş vb.) için geleneksel yerleşimlerden faydalanılarak buralara ekonomik katkı da sağlanacaktır. Kanyonun sonlandığı alanda konumlanan Tabakhane bölgesi de doğa turizmine mekânsal destek olabilecek atıl yapı stokuna sahiptir. Buradaki binalar daha fazla zarar görmeden bir an önce yeniden işlevlendirilerek turizme ve kent yaşamına kazandırılmalıdır.



Görsel 5. Önerilen rota

6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Ağırlıklı olarak kültür turizminin yapıldığı Safranbolu’da mevcut turizm uygulamalarına bağlı olarak belirli miras alanı ve yapıları üzerinde yoğun kullanım baskısı oluşmaktadır. Bu bağlamda kaynaklar arasında kullanım dengesinin kurulmasına yönelik stratejilerin belirlenmesi önemlidir. Kültürel turizmin kentteki tüm mirası kapsayacak şekilde homojen şekilde yayılması bu dengeyi sağlayacak yöntemlerdendir. Bu sayede farklı kültürel değerlerin deneyimlenerek korumacılık konusunda farkındalık da artacaktır. Kentte turizmin geliştirilmesi ve sorunların çözümüne yönelik doğal miras değerleri de önemli potansiyellere sahiptir. Doğru planlama ve stratejilerle bu değerlerden daha çok yararlanılarak kentte turizm çeşitliliği (Jeoturizm, kanyon turizmi, ekoturizm gibi) sağlanabilir bir durumdur. Kentin turistik çekiciliğini de artıracak bu çeşitlenme, ziyaretçilerin kentte kalış sürelerinin uzatılması, tekrar gelmelerinin sağlanması ve turizmin yıl içinde daha geniş dönemlere yayılması konularında çözüme katkı yapacaktır. Ayrıca doğa sporları aktiviteleri ile doğal değerler deneyimlenebilecek ve tanıtılacaktır.

Farklı miras türlerinin bütüncül yaklaşımlarla bir arada ele alınması hem turizm destinasyonunu güçlendirecek hem de birbirlerinin gelişimine destek oluşturacaktır. Bu yüzden üst ölçeklerde de gezi rotaları kurgulanarak değerler bütün olarak sunulabilmelidir. Geliştirilecek çalışmalarda yakın konumlanan farklı türdeki miras değerlerinin işlevsel açıdan da birbirini besleyeceği göz ardı edilmemelidir. Özellikle atıl durumdaki tarihi yapıların turizme yönelik mekânsal ihtiyaçların karşılanması noktasında yeniden işlevlendirilmeleri bir yandan yaşayarak korunmalarını da sağlayacaktır. Mevcut mekân stokunun değerlendirilmesi yöntemi ile doğal çevrenin dokusunu bozabilecek yeni yapılaşmanın da önüne geçilecektir. Doğa turizmi ile geleneksel dokuya sahip köylerin ilişkilendirilmesi ekonomik katkının geniş alanlara yayılmasını ve kırsal kalkınmayı beraberinde getirecektir.

Doğal miras değerlerini turizme açarken koruma-kullanma dengesinin kurulması, ekolojik özelliklerin korunması, ziyaretçilerin mirasın önemi ve korunması konusunda bilgilendirilmeleri ve bilinçlendirilmeleri bu değerlerin zarar görmeden sürdürülebilirliklerinin sağlanmasında büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] <https://www.kulturportali.gov.tr/portal/safranbolusehri> (Erişim tarihi: 25.12.2024).
- [2] Özköse, A., *Safranbolu Köylerinin Yöresel Mimarisi*, YEM Yayın, İstanbul, 2022.
- [3] Türker, N., *Cultural Tourism in Safranbolu*, 12. International Research Conference of the Council for Australian University Tourism and Hospitality Education, 76-77, Western Australia, 2002.
- [4] Özeren, E. B., Özkan Yazgan, E., Akalın, A., Olağanüstü Evrensel Değer Bağlamında Özgünlük ve Bütünlük: Safranbolu, Eski Çarşı, *TMD Uluslararası Hakemli Tasarım ve Mimarlık Dergisi*, (20), 1-33, 2020.

- [5] Canbulat İ., *City of Safranbolu*, UNESCO World Heritage in Turkey 2016, Turkish National Commission for UNESCO, Grafiker, 225-251, Ankara, 2016.
- [6] Koçan, N., *Tarihi Özellikleriyle Safranbolu Kenti-Çarşı Kesimi ve Peyzaj Mimarlığı Açısından İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2004.
- [7] Strange, I., Local Politics, New Agendas and Strategies for Change in English Historic Cities. *Cities*, 13(6), 431-437, 1996.
- [8] Öztürk, S. M., Yamaçlı, R., Safranbolu Eski Çarşı Bölgesinde Mekanın Tüketim Ekseninde İrdelenmesi, *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 8(2), 393-414, 2023.
- [9] Fidan, F., Gündoğdu, S., *İşlevini Yitirmiş Geleneksel Üretim Alanlarının Bütüncül Yaklaşımlarla Kente Kazandırılması: Safranbolu Tabakhane Bölgesi*, Ege 10. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 2764-2778, İzmir, 2023.
- [10] <https://yigm.ktb.gov.tr/TR-201121/isletme-bakanlik-belgeli-tesis-konaklama-istatistikleri.html> (Erişim tarihi: 25.12.2024).
- [11] Büyükyılmaz, S., Oğan, Y., Kastamonu İlinde Bulunan Kanyonların Turizm Potansiyelinin Değerlendirilmesi Üzerine Bir İnceleme, *Journal of Tourism Intelligence and Smartness*, 3(2), 203-222, 2020.
- [12] Hacısalıhoğlu, İ. Y., Geleneksel Türk Şehri: Safranbolu, *Türk Coğrafya Dergisi*, (30), 409-434, 1995.
- [13] Cemil Belder Kişisel Fotoğraf Arşivi (Erişim tarihi: 25.12.2024).
- [14] Gündoğdu, S., Water Heritage Values in the Eastern Black Sea Region, *International Journal of Cultural Property*, (30), 198–229, 2023.

İÇMİMARLIK EĞİTİMİNDE TASARIM STÜDYOSU DERSLERİ KAPSAMINDA GELİŞTİRİLEN PROJE FİKİRLERİ: SOSYODİJİTAL MÜZE ÖRNEĞİ

Doçent Elif ÖZDOĞLAR

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi

elif.ozdoglar@dpu.edu.tr- 0000-0002-9997-9487

Doçent Dr. Çağrı YALÇIN

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi

cagri.yalcin@dpu.edu.tr- 0000-0002-8408-9190

ÖZET

İçmimarlık, yeni bir akademik çalışma alanı olarak algılansa da kökeni, Osmanlı'nın ve Türkiye Cumhuriyeti'nin akademi düzeyindeki ilk sanat okulu olan Sanayi-i Nefise mektebi bünyesinde 1923 yılında açılan Tezyini Sanatlar Bölümü'ne dayanmaktadır. Bu eğitim alanı doğası gereği hem teori hem de uygulama çalışmalarını içermektedir. Bu süreçte öğrencinin tüm derslerde edindiği bilgileri; hayal gücü, tasarım dağarcığı ve kültürel birikimiyle harmanlayarak kullandığı mesleğin temelini oluşturan ders tasarım stüdyosu dersleridir. Farklı akademik programlarda proje, iç mekan tasarım gibi adlarla da yer alan ders yine kurumların programlarındaki çeşitlilik doğrultusunda altı ve sekiz dönem arası planlanabilmektedir.

Öğrenciler her dönem proje geliştirirken çok çeşitli konularda, inovatif mimari çözümler ve yaratıcı öneriler geliştirmektedir. Ancak bu proje fikirlerinin toplandığı yerel veya küresel bir platform bulunmamaktadır. Böyle bir platformun eksikliği Dünya'da ve Türkiye'de mimarlığın gelişmesi açısından eğilimesi gereken bir durumdur. Bunun yanı sıra bu çalışmaların meslek insanları arasındaki paylaşımları da genellikle dönem sonu sergileri ve sosyal medya ile sınırlı kalmaktadır. Sosyal bilimler, diğer bilim alanlarının ve Dünya'nın gelişmesi için gereken tüm teorik alt yapıyı çeşitli alt disiplinleri aracılığı ile sağlamaktadır.

2023-2024 Eğitim ve Öğretim Yılı'nda, Elif ÖZDOĞLAR ve Çağrı YALÇIN atölyesinde beş öğrenciden oluşan bir öğrenci grubuyla sosyal bilimleri dijital yöntemle teknolojidен güç alarak anlatabilecek bir müze projesi modeli oluşturmaya çalışılmıştır. Sosyodijital müze olarak isimlendirilen bu konseptin hem teknik çizimleri hem de bilgisayar destekli görselleştirmeleri kabuk olarak belirlenen bir yapı projesi üzerinden geliştirilmiştir. Bu araştırmanın amacı bu fikir projesinin akademik alt yapısını oluşturmak ve fütüristik bir konsept olarak sunmaktır. Çalışma kapsamında öğrencilerin ve proje yöneticilerinin konuya akademik bakış açıları, projenin konsepti ve tematik alt yapısı, tasarım detayları ve Sosyodijital müze önerisi paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sosyal Bilimler, Sosyodijital Müze, İç Mekan Tasarımı

ABSTRACT

Although interior architecture is perceived as a new academic field of study, its origins date back to the Department of Decorative Arts, which was opened in 1923 within the Sanayi-i Nefise School, the first academy level art school in the Ottoman Era and Turkish Republic. This field of education inherently includes both theory and practice. During this process, the courses that form the basis of the profession that the student uses by blending the knowledge acquired in all courses with his imagination, design vocabulary and cultural background are design studio

courses. The course, which is also included in different academic programs under the names of project and interior design, can be planned between six and eight semesters, again depending on the diversity in the programs of the institutions.

Students develop innovative architectural solutions and creative suggestions on a wide range of subjects while developing projects each semester. However, there is no local or global platform where these project ideas are collected. The lack of such a platform is a situation that needs to be addressed in terms of the development of architecture in the world and in Turkey. In addition, the sharing of these studies among professionals is usually limited to end-of-term exhibitions and social media. Social sciences provide all the theoretical infrastructure required for the development of other scientific fields and the world through its various sub-disciplines.

In the 2023-2024 Academic Year, a museum project model that can explain social sciences with the power of technology was tried to be created with a group of five students in the workshop of Elif ÖZDOĞLAR and Çağrı YALÇIN. Both the technical drawings and computer-aided visualizations of this concept called sociodigital museum were developed through a structure project determined as a shell. The aim of this research is to create the academic infrastructure of this idea project and present it as a futuristic concept. Within the scope of the study, the academic perspectives of the students and project managers on the subject, the concept and thematic infrastructure of the project, design details and the sociodigital museum proposal were shared.

Key words: Social Sciences, Sociodigital Museum, Interior Design

1. GİRİŞ

Osmanlı topraklarında 1847 yılında Mühendishane-i Berr-i Hümayun'un müfredatına mimarlık alanına dair batılı anlayışla hazırlanan dersler konulduğu bilinmektedir (Bardak, 2007). Osmanlı'nın ve Türkiye Cumhuriyeti'nin akademi düzeyindeki ilk sanat okulu olan ve 1883 yılında eğitim-öğretime başlayan Sanayi-i Nefise mektebi Hicri 1340'taki okul yönetmeliği doğrultusunda Sanayi-i Nefise mektebi öğrencilerinin on beş- yirmi beş yaş arası olması, orta öğretim ya da ortaöğretimin ilk yarısını tamamlamış olması beklenmiş ve mezun olsalar dahi otuz yaşına kadar atölyeleri kullanmalarına izin verilmiştir (Doğan&Özdoğan, 2015). İçmimarlık, yeni bir akademik çalışma alanı olarak algılandığında kökeni, Sanayi-i Nefise mektebi bünyesinde 1923 yılında açılan Tezyini Sanatlar Bölümü'ne dayanmaktadır (Aytıs, 2022). Tezyini Sanatlar Bölümü'ne sanat ve modelleme sınavları ile girilmiş, lise eğitiminde sanat veya modellemeden çok iyiye denk gelen notu almış olan öğrenciler ise sınavsız kayıt yaptırabilmişlerdir (Doğan&Özdoğan,2015).

2018 yılında yetenek sınavlarının kaldırılmasından sonra iç mimarlık alanında eğitim alan öğrencilerin sanat ve estetik anlamında gereken doygunluğa ulaşmaları yalnız akademi düzeyinde sağlanmaya başlanmıştır. Meslek liseleri ve güzel sanatlar liselerinde eğitim görmüş öğrencilerin öncelikli tercihlerinden olan bölüm, sistemin değişmesi ile ülke genelinde Sayısal ve EA puanı ile öğrenci alımına başladığından öğrenci profili de değişmiştir. Bu değişim ve dönüşüm sonrası müfredatın genellikle ilk yılında verilen temel sanat eğitimi, temel tasarım, sanat tarihi, iç mekan tasarımına giriş, perspektif, tasarı geometri gibi sanat ve tasarım temelini verebileceği derslerin ehemmiyeti ve dersi yürüten akademisyenin sorumluluğu da artmıştır. Tüm bu derslerde öğrenciler alanın özü ile iletişim kurmaktadır. İç mimarlık eğitimi sürecinde öğrencinin tüm derslerde edindiği bilgileri; hayal gücü, tasarım dağarcığı ve kültürel

birikimiyle harmanlayarak kullandığı mesleğin omurgasını oluşturan ders tasarım stüdyosu dersleridir. Farklı akademik programlarının müfredatlarında proje, iç mekan tasarımı gibi adlarla da yer alan ders yine kurumların programlarındaki çeşitlilik doğrultusunda altı ve sekiz dönem arası planlanabilmektedir. Genel olarak Türkiye’de İç mimarlık bölümleri “İç Mimarlık” ve “İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı” olarak iki şekilde isimlendirilmektedir. Yükseköğretim Kurulu'nun (YÖK) verilerine göre, "İç Mimarlık" programı 36 üniversitede, "İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı" programı ise 64 üniversitede bulunmaktadır. Bu programlar, devlet ve vakıf üniversiteleri bünyesinde yer almakta olup, eğitim dili ve burs olanakları gibi farklılıklar gösterebilmektedir.

İç mimarlık alanı yaratıcı ve inovatif doğası gereği tasarım teknolojilerine hızlı bir biçimde uyum sağlayabilmiştir. Yenilik, hız, değişim, dönüşüm, yaratıcı eğilim, tasarım, inovasyon bu mesleği tanımlayan temel kavramlardır. İçmimarlık eğitiminde, geleneksel ifade yöntemlerine ek olarak dijital teknolojiler, tasarım sürecini görselleştirme konusunda destek sağlamaktadır (Mecek & Kırıcı, 2019) Üç boyutlu görselleştirme aracılığı ile öğrenci-öğrenci, öğrenci-ders yürütücüsü, meslek profesyoneli-müşteri iletişimindeki açmazlar ve anlaşmazlıklar minimuma inmektedir. Bugün iç mimarlık alanında “CAD” aracılığıyla projelerin çizim süresi %5-%20 oranında kısalmaktadır. Sanal gerçeklik tasarım hatalarının tespitinde önemli bir rol oynamaktadır (Bardak, 2007). CAD tabanlı çizim programları hızın yanı sıra çizere esneklik sağlama ve alternatif üretme hususlarında da destek olmaktadır. Uzaktan eğitim sürecinde sıklıkla deneyimlenen “Sanal Tasarım Stüdyosu” kavramı, ilk kez 1990 yılında MIT Media Laboratuvarı'nda W. Mitchell tarafından bir konferansta dile getirilmiştir. Bu kavram, o tarihten günümüze kadar çeşitli ülkelerdeki birçok üniversitede, uluslararası düzeyde bilgisayar destekli ortak tasarım çalışmaları için farklı yöntem ve yaklaşımlarla uygulanmaya çalışılmıştır (Sakarya, 2019). Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik uygulamaları ise dijital mekânın fiziksel deneyimini sunmaktadır. Sanal gerçeklik, tasarımcıların projelerini daha gerçekçi bir şekilde simüle etmelerine olanak tanırken, aynı zamanda projeyi derinlemesine kavramalarına ve etkili bir şekilde ifade etmelerine katkı sağlamaktadır (Nas & Kavut, 2023) Şekerci sanal gerçeklik öğrencinin konumunu aktifleştirdiğine değinmektedir. Kılıç ise sanal gerçekliği VR teknolojilerine ait donanımların kullanım tecrübelerinden ziyade daldırma ve bulunma hisleri üzerine bir deneyim olarak tanımlamaktadır (Kılıç, 2020). Daldırma bugün Dubai’de bulunan “Museum of the Future” gibi pek çok müzenin iç mekan tasarımında kullanılan bir animasyon tekniğidir. Eğitime bu denli entegrasyon sağlamış teknoloji tabanlı teknik ve uygulamaların mekânların tasarımlarına da yansıtacağını ön görmek mümkündür. Müze iç mekânlarında dijital tasarım unsurları, ziyaretçilere daha etkileyici ve etkileşimli bir deneyim sunmak amacıyla kullanılan yaratıcı çözümleri içerdiğinden bu kulvardaki güncel örneklerin çoğalacağını ve çeşitleneceği söylenebilir.

2. BULGULAR

Müze tasarımında kullanılan dijital tasarım unsurları, modern teknolojilerin sunduğu olanaklarla ziyaretçi deneyimini çok yönlü olarak zenginleştiren ve sergilerin daha etkileşimli bir biçimde sunulmasını sağlayan temel araçlar arasında yer almaktadır. Bu unsurlar, yalnızca görsellik ve etkileşim sağlamaktan öte, ziyaretçilerin mekânlarla ve sergilenen eserlerle daha derin bir bağ kurmasına yardımcı olmaktadır. Bu bağlamda, Dijital Projeksiyon Haritalama (Projection Mapping), Artırılmış Gerçeklik (AR), Etkileşimli Dokunmatik Ekranlar, Sanal Gerçeklik (VR), Akıllı Işıklandırma Sistemleri ve Holografik Görseller, dijital tasarımın müze mekânlarındaki en etkili uygulama alanları olarak öne çıkmaktadır.

Dijital Projeksiyon Haritalama teknolojisi, sergi alanlarını statik birer izleme alanı olmaktan çıkararak, dinamik bir görsel hikâye anlatımına olanak tanımaktadır. Bu teknoloji, sergi mekânlarının duvarlarına, tavanlarına ve zeminlerine yansıtılan görsellerle mekânı adeta bir sanat eseri hâline dönüştürür. Van Gogh Alive ve Da Vinci sergilerinde kullanılan bu teknoloji, sanat eserlerini sadece izlenebilir olmaktan çıkarıp ziyaretçilerin içine dahil olabileceği bir deneyim hâline getirmektedir. Aynı şekilde, Sezen Aksu Sergisi gibi tematik etkinliklerde bu teknoloji, hikâyelerin güçlü bir görsellik ve duygusal bağla aktarılmasını sağlamaktadır.

Artırılmış Gerçeklik (AR) uygulamaları, fiziksel dünyayı dijital öğelerle zenginleştirerek sergilenen eserlerin daha derinlemesine anlaşılmasına olanak tanımaktadır. Bu teknoloji, ziyaretçilere geçmişteki olayları, mekânları ve nesnelere dijital olarak yeniden keşfetme fırsatı sunar. British Museum (Londra), AR teknolojisi ile sergilediği eserlerin orijinal hâllerini ve kullanım alanlarını ziyaretçilere detaylı bir şekilde sunmaktadır. Türkiye’den bir diğer örnek olan Truva Müzesi (Çanakkale), antik döneme ait konutların ve yaşam alanlarının AR teknolojisiyle ziyaretçilere aktarılmasını sağlamaktadır. Bu sayede ziyaretçiler, tarihsel bir bağlam içinde o dönemin yaşamına dair somut bir deneyim yaşayabilmektedir.

Etkileşimli dokunmatik ekranlar, ziyaretçilerin bilgiye erişimini kolaylaştıran ve sergilenen eserlerle daha kişisel bir bağ kurmalarını sağlayan bir diğer önemli teknolojidir. Bu ekranlar hem bilgilendirici hem de eğitici bir araç olarak kullanılmaktadır. Smithsonian Ulusal Doğa Tarihi Müzesi, dinazor iskeletlerinin 360 derece incelenmesini sağlayarak, ziyaretçilere eserlerle birebir etkileşim kurma imkânı sunmaktadır. İstanbul Modern ise dijital ekranlar aracılığıyla sanatçı biyografilerini ve eser analizlerini detaylı bir şekilde sunarak, ziyaretçilerin sergileri daha bilinçli bir şekilde incelemesine olanak tanımaktadır. Sanal Gerçeklik (VR) teknolojisi, ziyaretçilere sanal bir ortamda sergilenen eserleri deneyimleme fırsatı sunmaktadır. Bu teknoloji, mekânları fiziksel sınırların ötesine taşıyarak tarihin ya da sanatın farklı dönemlerine adeta bir "zaman yolculuğu" yapılmasına imkân tanır. Louvre Müzesi (Paris), ziyaretçilere VR gözlükleri aracılığıyla Mona Lisa'nın yaratıldığı dönemi birebir deneyimleme fırsatı sunmaktadır. Anadolu Medeniyetleri Müzesi ise antik kentleri VR teknolojisiyle yeniden canlandırarak, ziyaretçilere o dönemin yaşamına dair gerçekçi bir anlayış sunmaktadır.

Akıllı ışıklandırma sistemleri, sergi alanlarının atmosferini şekillendiren ve eserlerin belirginliğini artıran önemli bir teknolojik unsurdur. Bu sistemler, mekânın genel estetik değerine katkı sağlarken, ziyaretçilerin dikkatini eserler üzerinde yoğunlaştırmak amacıyla tematik bir araç olarak da kullanılmaktadır. Tokyo Digital Art Museum, dinamik ışıklandırmalar ve dijital projeksiyonlarla mekânı interaktif bir sanat eseri hâline dönüştürerek, ziyaretçilere benzersiz bir görsel deneyim sunmaktadır. Holografik görseller, sergilenen içeriklerin üç boyutlu canlandırılmasını sağlayarak ziyaretçilerin mekânla daha güçlü bir bağ kurmasına olanak tanımaktadır. Bu teknoloji hem görsel etkileycilik hem de hikâye anlatımı açısından önemli bir yere sahiptir. Atatürk Devrimleri Müzesi, holografik teknolojiyi Atatürk’ün konuşmalarını canlandırmak için kullanarak, ziyaretçilere tarihi ve duygusal bir bağ kurma fırsatı sunmaktadır.

Türkiye’de dijital teknolojileri etkin bir şekilde kullanan müzeler, yenilikçi yaklaşımlarıyla dikkat çekmektedir. İstanbul Robot Müzesi, tamamen teknoloji odaklı bir yaklaşımla geleceğin teknolojilerini tanıtan bir müzedir. Panorama 1453 Tarih Müzesi, ses ve dijital unsurları bir araya getirerek, tarihsel olayları ziyaretçilere etkileyici bir şekilde aktarmaktadır. Efes Deneyim Müzesi ise Dijital Projeksiyon Haritalama teknolojisiyle tarihsel bağlamı zenginleştirerek özgün bir ziyaretçi deneyimi sunmaktadır. NFT sanat eserleri’nde Refik Anadol ön plana çıkan isimlerdendir. Bu eserlerin sergilemeleri de işin kimliğine uygun gerçekleştirilmektedir. Bu tekniğin vitrin ve girişlerde de kullanılması dinamik mekanların geleceğine dair bir perspektif sunmaktadır. Arzu Kaprol İstanbul moda haftasında VR defile gerçekleştirmiştir. Ayrıca yapay

zeka bugün eğitimin her alanında aktif şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı tasarım stüdyosu V dersi kapsamında geliştirilen sosyodijital müze kavramını irdelemektir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Dijital tasarım unsurları, müze mekânlarını yalnızca sergileme alanları olmaktan çıkarıp, ziyaretçilerin aktif katılımını teşvik eden, kültürel mirası daha geniş kitlelere etkili bir şekilde aktarabilen dinamik platformlara dönüştürmektedir. Bu teknolojiler, kültürel ve sanatsal içeriklerin geleceğe taşınmasında önemli bir köprü görevi görmektedir. Tasarım stüdyosu derslerinde her dönem dijital tasarım unsurları kullanılarak çok sayıda konsept ve fikir geliştirilmekte ve projelendirilmektedir. Ancak bunların derlendiği ve sunulduğu etkin platformlar bulunmadığından tozlu raflarda tarihin derinliklerine gömülmektedirler. Sosyodijital müze konsepti sosyal bilimlerin, sosyal psikoloji, felsefe gibi müzeleştirilmemiş alanlarına sahip çıkan ve onu güncel teknolojilerle izleyici deneyimi açısından çağa adaptasyonunu sağlayan bir projedir. Bu proje Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, Elif ÖZDOĞLAR ve Çağrı YALÇIN Atölyesi'nde dördüncü sınıf güz dönemi tasarım stüdyosu V dersi kapsamında altı kişilik bir öğrenci grubu tarafından oluşturulmuştur. Grup öğrencileri Ali Eser, Burak Cankıymaz, Ekin Doğan, Enes Terzi Mustafa Adil Ketab Al Salman ve Serhat Yalçınkaya'dır. Grup öğrencileri tarafından Projenin asıl amacı, “ziyaretçilere sosyal bilimler noktasında daha önceden yapılmış sosyopsikolojik deneyleri düşündürerek, eğlendirecek ve hatta deneyimleyebilecekleri ve felsefe alanındaki kavram kargaşalarına çözüm getirebilecekleri bir müze sunmaktır.”olarak belirtilmiştir. Yapılan araştırmalarda Türkiye’de daha önce buna benzer sosyal bilimlerle ilgili farklı müzelerin tasarlandığı fakat bu müzelerin deneyim odaklı olmadığı ve dijital müzecilik anlayışından yararlanmadıkları fark edilmiş araştırmanın problemini ise bu çıkarım oluşturmaktadır. Sosyodijital Müze adının belirlenmesinin nedeni müzenin gelişmekte olan yüksek teknolojinin bir yansıması olmasından kaynaklanmaktadır. Tasarım sürecinde yapay zekadan da yararlanılmıştır.



Görsel 1: Yapay Zeka ve Pavlov

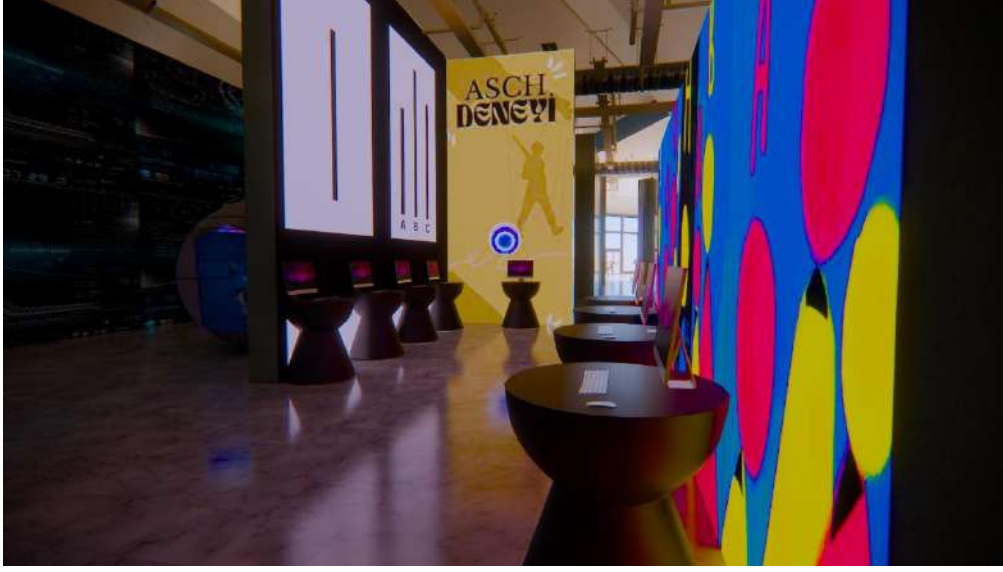
Müzede bulunan dijital kütüphaneyi diğer kütüphanelerden ayıran özelliği ziyaretçilere dijital öğrenme olanakları sunmasıdır. Bununla birlikte müzeyi ziyaret eden görme engelli bireylerin

bilgiye erişimini kolaylaştıran sistemler kullanılmıştır. Bir diğer bölüm olan artırılmış gerçeklik kapsülleri iç tasarımında bulunan otomo stereoskopik 3D Ekranlar sayesinde ziyaretçileri hayal gücünün sınırlarında felsefe tarihi konusunda bir yolculuğa çıkarmaktadır. Ayrıca koridorlara yerleştirilen ekranlarda yapılacak bilgilendirmelerle özellikle sosyal medyanın yol açtığı aforizma kirliliğine çözüm sunulması düşünülmüştür. Müzenin fuaye alanında ise ziyaretçileri oturma alanları ile dijital kafe karşılamaktadır. Bu kafede kullanıcılar yapay zekaya sipariş verebilmekte ve robot garsonlardan hizmet almaktadır. Ayrıca felsefecilerin hologramları izleyicilerle duysal bağ da kurmaktadır. Bar taburelerinde elektromanyetik sistemlerden yararlanılması düşünülmüştür. Müzenin çeşitli yerlerine konumlandırılan çekim alanlarında adımlar izlenerek poz verildiğinde ziyaretçinin filozofisini sevdiği felsefeci ile tartıştığı bir video oluşmaktadır. Hediyeelik eşya satış, vestiyer, bekleme gibi bölümlerde de dokunmatik ekranlar, dijital yönlendirmeler ve dekoratif olarak nft sanat eserleri kullanılması düşünülmüştür.



Görsel 2: Artırılmış Gerçeklik Kapsülleri

Müzenin sergileme alanlarında deneyler için ayrılan farklı konseptlerde tasarlanmış alanlar bulunmaktadır. Bu alanlarda izleyicilerin deneylerden olumsuz etkilenmemesi için hiperrealistik bir üslup tercih edilmemiş, deneyler oyunusal bir deneyim biçiminde sunulmaya çalışılmıştır. Bu alanlardan bazıları Pavlov'un köpeği deneyi, Asch uyum deneyi, Tramvay deneyi ve Mahkûm ikilemi deneyidir. Pavlov'un köpeği deneyi ses ve eylem arasında şartlı refleks geliştirilmesine dayanmaktadır (Güven & Kınıkoğlu, 2021) (Aykın ve diğerleri, 2023). *Hayvan deneyleri*. Yeni İnsan Yayınevi. Bu kısımda belirli aralıklarla bir ses yankılanması ve ziyaretçilere müzenin reklamını yapacak ve dönemsel konseptlerle örtüşecek ikramlarda bulunulması düşünülmüştür. Örneğin, yılbaşında müzenin logosunu taşıyan ve dönemle örtüşen minik hediyeler sunulması gibi... Asch uyum deneyi ise basit sorulara verilen kitleye uyararak doğru cevap verememeye dayanmaktadır. Bu alanda ziyaretçiler önlerinde bulunan ekranlarda çıkan sorulara yanıt verirler. Ancak ekran ve bağlı bulunduğu algoritma izleyicileri hem güldürecek hem düşündürecek yanlış yanıtlar verir. (Battal ve diğerleri, 2018)



Görsel 3: Asch Deneyi

Tramvay deneyinde tramvay, üzerinde beş kişinin bağlı olduğu bir yolda ilerlemektedir ve onları ezmesi kaçınılmazdır. Tek kaçış yolu, bir makas kolu sayesinde tramvayı başka bir yola yönlendirmektir. Ancak bu yolda da araç bir kişiye zarar verecektir. Bu deney bu minvalde ahlak felsefesini irdeleyen kült bir çalışmadır. Bu alanda bir tramvay bulunur. Holografik bir tramvay yer alır ön kısmında bulunan dijital ekran ve önünde bulunan kol sayesinde katılımcılar hangi tercihi yapacaklarını seçerler. Ancak seçim hayati unsurlar barındırmayan her seferinde farklı alternatifler sunan bir biçimde düzenlenecektir. Mahkum ikilemi deneyi ise stres altında suç ortaklığının devamlılığı durumunda suçun düşebileceğini değerlendirir. Bu kısımda aileler ya da arkadaş grupları deneyim başlamadan eğlenceli bir konu verilerek tartışmalarına izin verildikten sonra ayrı alanlara alınır ve bir oyun oynarlar ve dijital ayna aracılığı ile kendilerini mahkum kostümü ile fotoğraflamaları sağlanır (Tecim&Kaya, 2018).



Görsel 4-5 Mahkum Deneyi

4. GENEL DEĞERLENDİRME

Geleceği, inovatif, yaratıcı çok sayıda çözümün geliştirildiği bu derslerin dokümanlarının arşivleneceği bir platformun eksikliği hem öğrencileri her proje başında benzer örneklerle ulaşma anlamında zaman kaybettirmekte hem de uzun soluklu bu ürünlerin yok olmasına neden olmaktadır. Eğitimin dijitalleştiği bu çağda dijital arşivleme ve dijital paylaşım olanaklarından yararlanmak adına gerekli platformlar oluşturulmalıdır. Bu çalışmada sosyodijital konsept

deneyleri oyuna dayalı bir dille sunan, servis ve hizmet alanlarına teknolojiyi eklemeyen, felsefe alanındaki bilgi kirliliğine ışık tutan, sergileme alanlarında mekanın kullanıcı ile bağ kurmasını sağlayan gelecekçi bir örnektir. Müzecilik anlayışının gelecekte izleyici ve kullanıcı deneyimiyle daha etkin bir bağ kuracağını söylemek mümkündür. Bu nedenle müze tasarımlarında deneyim faktörünün değerlendirilmesi ve klasik disiplinlerin dışına çıkılması önem arz etmektedir. Ayrıca iç mimarlık eğitiminde geleneksel metodların çağdaş metodlarla bütünleşmesi öğrencilerin geleceğin Dünya'sına daha kolay adapte olmalarını sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Aykın, A. G., Deveci, A., Yıldız, Ö., & Karatug, M. (2023). Klasik Koşullanma Ve Spor Eğitimi Açısından Doğurguları. *Spor, Sağlık ve Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 22-28.

Aytıs, S., Tezyinî Sanatlar'dan İç Mimarlık Bölümü'ne: Tezyinî Sanatlar'dan İç Mimarlık Bölümü'ne. *Tasarım+ Kuram*, 18(36), 1-17, 2022.

Bardak, S., *İç mimarlık eğitiminde bilgisayar destekli tasarımın yeri ve sorunları* (Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, MSGSÜ), 2007

Battal, F., Yıldız, Ş., Kılıçaslan, Ş., & Çınar, E. (2018). Solomon Ash Uyumluluk Deneyi ve Bireylerin Karar Verme Tarzları Arasındaki İlişki (Türkiye Örneği), 2018.

Doğan, C., & Özdoğlar, E., Starting and today of the interior architecture education; a comparative research on the models of mimar sinan fine arts university, sanayi-i nefise mektebi alisi (former mimar sinan fine arts university) and ecole des beaux arts. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 174, 4108-4116, 2015.

Güven, Y. Ö., & Kınıkoğlu, O., *Hayvan deneyleri*. Yeni İnsan Yayınevi, 2021.

Tecim, E. & Kaya, R., Sosyal sermaye ve sivil toplum. *Muhafazakar Düşünce Dergisi Sayı 29-30: Sivil Toplum-Ara Kurumlar*, 3, 2018.

Kılıç, T., *Sanal gerçeklik teknolojisinin iç mimarlık eğitiminde kullanılmasına yönelik bir öğretim modeli önerisi* (Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, MSGSÜ), 2020.

Mecek, Y. S., & Kırıcı, S. İçmimarlık Eğitiminde Dijital Tasarım. *Mekansal Çalışmalar Dergisi*, 1(1), 37-47, 2019

Nas, S., & Kavut, İ. E. (2023). İç mimarlık eğitiminde sanal gerçeklik uygulamalarının önemi. *Mimarlık ve Yaşam*, 8(2), 285-298.

Sakarya, K., İç mimarlık eğitimine yönelik uzaktan eğitim modeli önerileri. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 28(2), 388-401, 2019

Şekerci, C., *Sanal gerçekliğin iç mimarlık eğitimine etkisi*, (Yüksek Lisans Tezi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi), 2017.

<https://www.istanbulrobotmuzesi.com/>



<https://naturalhistory.si.edu/>

MITOLOJİNİN MODERNİZASYONU ALACAKARANLIK SERİSİ VE KURGUSAL MEKAN

Doçent Dr. Çağrı YALÇIN

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi
cagri.yalcin@dpu.edu.tr- 0000-0002-8408-9190

Doçent Elif ÖZDOĞLAR

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi
elif.ozdoglar@dpu.edu.tr- 0000-0002-9997-9487

İç Mimar İlayda KUŞ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi
İlayda.kus0@dpu.edu.tr- 0009-0008-0147-3957

ÖZET

Vampirlerin doğaüstü bir karakter olarak ele alındığı ilk alan mitolojidir. Mezopotamya mitolojisinden Yunan mitolojisine kadar uzanan çeşitli varyasyonlarda, vampir karakterleri antik çağlardan itibaren küresel düzeyde yorumlanmıştır. Edebiyat alanında ise bu figür, Hint kökenli “Vikram ve Vampir” adlı eserle yer bulmuştur. 19. yüzyılda J. Sheridan Le Fanu’nun “Carmilla” eseri ile dişi vampir, Bram Stoker’ın “Drakula” eseri ile ise erkek vampir temsilleri modern bir perspektifle yeniden şekillendirilmiştir. Bu eserler, vampir türünün genel özelliklerini ve yaşam alanlarını tanımlayarak türün edebi temellerini oluşturmuştur. 20. yüzyılın başında, bu temellerden hareketle üretilen “Nosferatu: Bir Dehşet Senfonisi” adlı sinema filmi, vampir figürünü görsel olarak tamamlamıştır.

20.yy’ın sonları ve 21.yy’ın başlarında, vampir teması sinemada modernizasyon sürecine girmiştir. Anne Rice ve Stephenie Meyer gibi yazarların edebi eserleri, vampir sineması türünde üretilen filmlerin sayısını artırmış ve nitelik açısından çeşitlenmesini sağlamıştır. Orijinal isimleriyle “Buffy the Vampire Slayer”, “Interview with the Vampire”, “Twilight” serisi ve “Hotel Transilvania” gibi yapımlar bu dönüşüme örnek olarak gösterilebilir. 21. yüzyılda etkisini giderek artıran vampir fenomenolojisi, bu eserleri popüler kültürün önemli bir parçası haline getirmiştir.

Bu araştırma, Twilight (Alacakaranlık) serisi üzerinden mitolojinin modernizasyon sürecini incelemeyi, vampirin doğaüstü bir karakterden popüler kültür nesnesine evrimini analiz etmeyi ve filmleri fiziksel ve dijital mekân bağlamında çok yönlü olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, serinin filmleri izlenmiş ve konuya ilişkin kapsamlı bir literatür çalışması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alacakaranlık Serisi, Mitoloji, Vampir

ABSTRACT

The first area where vampires were treated as supernatural characters was mythology. Vampire characters have been interpreted globally since ancient times in various variations ranging from Mesopotamian mythology to Greek mythology. In the field of literature, this figure found a

place in the Indian-origin work “Vikram and the Vampire”. In the 19th century, the representation of the female vampire was reshaped from a modern perspective with J. Sheridan Le Fanu’s work “Carmilla” and the male vampire with Bram Stoker’s work “Dracula”. These works defined the general characteristics and living spaces of the vampire genre and formed the literary foundations of the genre. At the beginning of the 20th century, the movie “Nosferatu: A Symphony of Horror”, which was produced based on these foundations, visually completed the vampire figure.

In the late 20th century and early 21st century, the vampire theme entered a modernization process in cinema. Literary works of writers such as Anne Rice and Stephenie Meyer increased the number of films produced in the vampire cinema genre and diversified them in terms of quality. Productions with their original names such as “Buffy the Vampire Slayer”, “Interview with the Vampire”, “Twilight” series and “Hotel Transilvania” can be given as examples of this transformation. Vampire phenomenology, which has been increasingly influential in the 21st century, has made these works an important part of popular culture.

This research aims to examine the modernization process of mythology through the Twilight series, to analyze the evolution of the vampire from a supernatural character to a popular culture object, and to evaluate the films in a multi-faceted manner in the context of physical and digital space. In this context, the films of the series were watched and a comprehensive literature study was conducted on the subject.

Key words: Twilight Series, Mythology, Vampire

1. GİRİŞ

Vampirlerin doğaüstü bir karakter olarak ele alındığı ilk alan mitolojidir. Mezopotamya mitolojisinde dişi bir şeytan olan Lamaştu yeni doğum yapmış kadınları ve evlatlarını hedef alan bir karakterdir. (Bottéro, 2001). Yunan mitolojisinde ise dişi bir karakter olan Lamia benzer nitelikler gösterir (Akyıldız Ercan, 2013) Türk mitolojisinden komşu topraklardaki Slav mitolojilerine de geçiş yapan meçkey ve ubırlar söz konusudur (Karakurt, 2011). Edebiyat alanında ise bu figür, Hint kökenli “Vikram ve Vampir” (Baital Pachisi, Vikram the Vampire) adlı eserle yer bulmuştur. Karanlık kısa hikaye türündeki eser mistik ve ahlaki dersler içeren kitap Vikramaditya kısaca Vikram adında bir Raca/Kral ile Vetal adında vampirik bir karakterin ikilemler ve felsefi sorular içeren öyküsüdür. (Pritchett & Husain, 1983). Sözcük olarak Polidori’nin şiir eserinde geçen, Vampir’in tür olarak tasviri Le Fanu’nun dişi örneği “Carmilla” Bram Stoker’ın erkek örneği “Drakula” ile yapılmıştır (Polidori, 1819) (Stoker, 1897) (Le Fanu,1872) Bugün betimlenen vampirlerin temel nitelik ve özellikleri bu edebi eserler aracılığıyla tanımlanmış, görsel imgeleri ise ilk kez “Nosferatu: Bir Dehşet Senfonisi” adlı sinema filminde kurgulanmıştır.

20.yy. modern vampir edebiyatının en bilinen ve kabul gören temsilcilerinden biri Anne Rice’dir. Bu alanda çok sayıda eseri bulunan Rice’ın “Vampirle Görüşme” (Interview with the Vampire) adlı eseri kült bir eser olarak sinemaya uyarlanmıştır (Rice, 1976). Neil Jordan’ın yönettiği ve 1994 yılında vizyona giren bu eserle birlikte vampirler ölümlülük ve ölümsüzlük arasında Dünya’yı sorgulayan derin psikolojiye sahip olmaya ve insanlarla iletişime geçmeye başlamışlardır. Filmde yer alan çocuk vampir Claudia bu anlamda devrimsel bir karakterdir. Richard Matheson’un “Ben Efsaneyim” (I Am Legend) adlı eseri ise bilimkurgu ve vampir mitini birleştiren post apokaliptik bir hikaye sunarak vampirlere yeni bir soluk getirmiştir (Matheson, 1954). Stephenie Meyer ise bu devrimci kuşağın en güncel edebiyatçılarından. Orijinal isimleriyle “Buffy the Vampire Slayer” adlı dizi ve “Hotel Transilvania” isimli

toplama dört filmden oluşan animasyon sineması eseri gibi de vampirlerin modernist dönüşüme örnek olarak gösterilebilir. Stephenie Meyer'in yazmış olduğu Alacakaranlık (Twilight) serisi Alacakaranlık (Twilight) 2005, Yeniay (New moon) 2006, Tutulma (Eclipse) 2007, Şafak Vakti (Breaking Dawn) 2008, Alacakaranlık Yaşam ve Ölüm (Life and Death) 2015, Gece Yarısı Güneşi (Midnight Sun) 2020'dir. Ayrıca Bree Tanner'ın İkinci Hayatı (The Short Second Life of Bree Tanner) 2009 ve The Twilight Saga: the Official Illustrated Guide 2022 başlıklı yardımcı kitapları ve ilk üç kitabın çizgi roman versiyonları bulunmaktadır (Url-1) Bu seri tanımlanan karakterlerle karanlık gotik fantezi türüne romantizmde ekleyen, bir 21.yy. masalı anlatan ve karakter ve mekan bağlamında vampir edebiyatının en güncel biçimini yansıtan eserlerdir. Ayrıca vampir kültürünü fenomolojik bir hale getirerek küresel düzeyde kabul görmesine ve çok çeşitli tasarım nesnelereyle popüler kültüre entegre bir hale gelmesini sağlamıştır. Film milyon dolarlara ulaşan ve hala artmaya devam eden kazancı ve fan kitlesi ile sinematik bir fenomene dönüşmüştür (Clayton&Harman, 2014). İlk filmin kitabı Dünya genelinde 85 milyon satmış ve otuz yedi dile çevrilmiştir (Bedoya, 2011).

2. BULGULAR

Modern vampir edebiyatında; toplumun yozlaştığı ve sosyal çürümenin yaşandığı, Dünya Savaşları'nın, küresel krizlerin, hibrit savaşların, kitlesel imha silahlarının, biyolojik savaşların yaşandığı modern Dünya'da artık korkulan varlığın türünden ziyade kimliğidir. Varlığı tanımlayan onun süper güçleri, doğa üstü becerileri, fiziksel görünüşü ve morfolojik özellikleri değil kötülük karşısındaki duruşudur. Bu bağlamda özellikle 21.yy'da vampirler ve beşer iyi ve kötü olarak ayrılmışlar, Dünya'yı bir yuva gibi görerek onu sahiplenmeye başlamışlar, diğer canlıların yaşam haklarına saygı duymaya çalışmışlar, duygusal ve psikolojik kimlik kazanmışlar, ayrımcılık, cinsiyet eşitsizliği, sosyal adaletsizlik gibi hususlarda sosyolojik tartışmalara girmişlerdir. Bir korku nesnesi olan vampir klanı kavramı toplumun en küçük sosyal birimi olan aile ile yer değiştirmiştir. Edward ve Bella'nın aşkının ve türler arası birliktelikten doğan yeni türlerin romantize edilmesi posthumanist bir yaklaşım olarak ırkçılığı yargılayan sıra dışı bir yaklaşım olarak algılanabilir. Ayrıca Cullen ailesinin güçlerini insanlar üzerinde kullanmamaya dayanan vampirlerin geleneksel beslenme yöntemlerine karşı gelen tutumları insanların yaşam haklarına duyulması gereken saygı seviyesine erişmelerine bir örnek olarak gösterilebilir. Anlamına göre, birey ayrılmaz bir birliktir. Psikoloji ise zihinsel ve insan davranışını inceleyen bir bilimdir. Adler'e göre, bireysel psikoloji, birinin deneyim ve davranışının organize edilmiş bir birlik olarak anlaşılmasıyla ilgilenen bir bilimdir. (Wardani, 2010) Bu nedenle eserlerde karakterler bir bütün olarak ele alınarak kurgulanmış ve aralarındaki iletişim tanımlanmıştır.

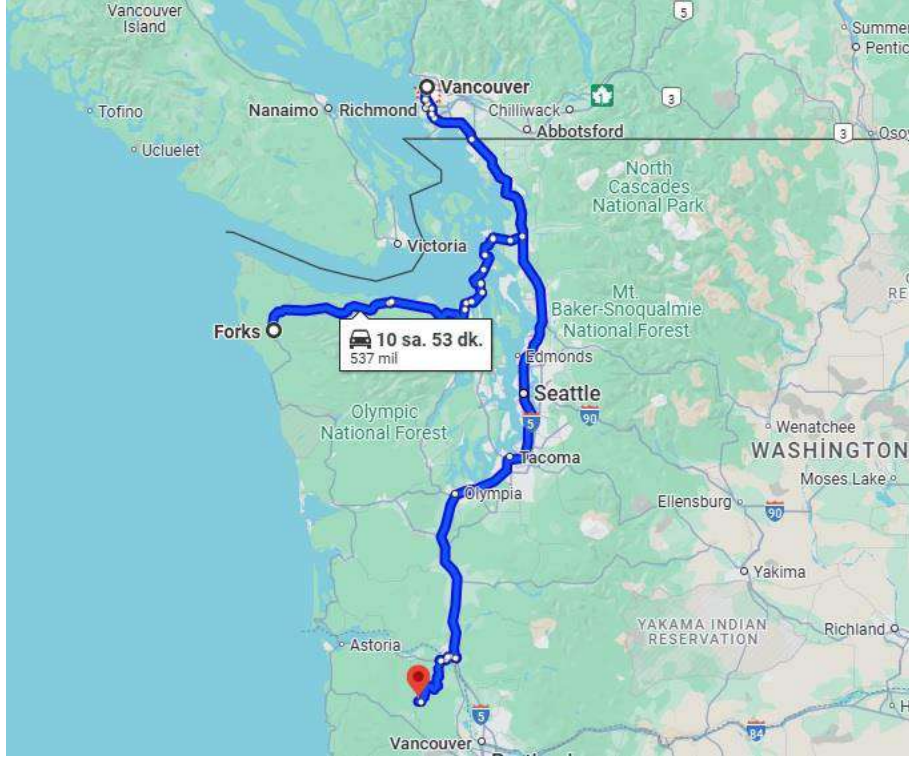
Filmlerin ana karakterleri bir insan olan Bella Swan ve bir vampir olan Edward Cullen'dır. Bu nedenle Edward majör Bella ise minör karakter olarak tanımlanmıştır. Eserlerin hikayesi farklı tür olan Bella ve Edward'ın aşkına ve bu süreçte yaşanan türler arası diyalog ve çatışmalara dayanmaktadır. Çatışma, Bella'nın Edward'ın insan olmadığını öğrenmesiyle başlamaktadır (Aprita ve diğerleri, 2013). Bella annesi ve babası ayrıldıktan sonra babası ile yaşamak üzere Forks kasabasına yerleşen bir genç kızdır. Babası Charlie polis şefidir. Annesi ise Forks'a uzak bir bölgede yeni partneri ile yeni bir yaşama başlamıştır. Edward ise yaklaşık 1918-1920 yılları arasında yaşanan domuz gribine neden olan virüs olarak bilinen H1N1 virüsünün bir türünün yol açtığı İspanyol gribi pandemisinde ölmek üzereyken Doktor Carlisle Cullen tarafından vampire dönüştürülen bir karakterdir. Carlisle Cullen filmde vampir Cullen ailesinin babası rolündedir fakat çocuklarının hiçbirinin biyolojik babası değildir. Vampirlerin bir araya gelerek kurdukları klan bu kez Carlisle tarafından kurulan bir aile olarak betimlenerek romantize edilmiştir. Carlisle'in eşi Esme doğumda oğlunu kaybettikten sonra intihar eden öldü sanılarak

morga getirilen ancak yaşadığı Doktor Carlisle tarafından fark edilince vampire dönüştürülen bir karakterdir. Evladını kaybeden bir anne olması onun genç vampirlerin annesi rolünü üstlenmesinde ve gelini Bella'yı benimsemesinde önemli bir etkidir. Geleceği görme yeteneğine sahip Alice Cullen Edward'ın kız kardeşidir. Modaya ve arabalara ilgi duyan Alice, aynı zamanda Bella'nın arkadaşı Jasper'ın eşidir. Alice'in geçmişi hatırlayamaması nedeniyle öyküsü çok net olmamakla birlikte duru görüş yeteneği nedeniyle akıl hastanesine yatırıldığı ve orada bir vampir tarafından dönüştürüldüğü öncesinde Cynthia adında bir kız kardeşi ve hala hayatta olan bir yeğeni olduğu, karanlık bir geçmişe ve duyguları manipüle etme yeteneğine sahip Jasper ile 1950'lerde tanıştığı ve Carlisle'ın ailesine sonradan katıldıklarından bahsedilmektedir. Jasper'ın kirliliği vardır. Gururlu ve mesafeli bir karakter olan Rosalie Hale New York'ta yaşayan genç ve güzel bir kadıncı nişanlısı ve arkadaşları tarafından toplu tecavüze ve şiddete uğradıktan sonra ölmek üzereyken Carlisle tarafından bulunarak dönüştürülmüştür. Emmett Cullen ise bir ayı saldırısından Rosalie'nin kendini dönüştürmesi sonucu kurtulan neşeli ve optimist bir karakterdir. Bu minvalde vampirlik karakterlere canavarlaşmaları için verilen bir lanet değil modern toplumun karanlık yüzü karşısında sunulan ikinci bir şanstır. Bu yaklaşımlarla film çoğu vampir arketipine karşı gelir. Bu özellikler arasında, kurbanların bazılarını vampirlere dönüştürme kapasitesi, uzay ve zamana meydan okuma yeteneği, terör estirme arzusu ve tek bir vampirin varlığının insanlık için bir tehdit oluşturması, çünkü bunun onun gibi başkalarının da olduğu anlamına gelmesi gibi durumlar yer almaktadır. Vampir karakterdeki ezber bozan yaklaşım avcı, katil, korkutucu görünümlü kurt adam"ın olağan tasvirini reddetmesinden de algılanabilir. Yalnız Bella karakterinde bir arketip olan "sıkıntıdaki genç kız" (damsel in distress) kullanılmıştır (Bedoya, 2011). Silver ise Bella'nın on yedi yaşında bir genç kız olması, Edward'ın ise fiziksel olarak zamanda donmuş olması ancak zihinsel ve sosyolojik olarak yaklaşık yüz dokuz yaşında olgun bir adam olmasını feministik yönden eleştirel bulmaktadır (Silver, 2010) Taylor ise bu çözümlenmeyi Harlequin'lerin formülüne benzetmektedir (Taylor, 2014).

Vampir çift olan Victoria ve James ise kötü olarak betimlenen karakterlerdir. Aro, Marcus, Caius Volturi klanına mensup, vampir aleminde saygın bir yere sahip, geleneksel değerlere bağlı üyeleridir. Lider Aro'yla birlikte kanunları yapmak ve uygulamakla da yükümlüdürler. Volturi klanının bir diğer mensubu Edward ile bir geçmişi olan ve varlıkları acı içinde bırakabilme gücüne sahip Jane'dir.

Jacob Black ise Bella'nın arkadaşıdır. Forks bölgesinde yaşayan Kızılderili Quillete kabilesinin bir üyesidir. Bu kabilenin üyeleri ise kurt adamlardır. Türler arası ilişkilere odaklanan karakterlerin bağlantı noktası ise eserde bir barış sembolü olmaya aday olan Bella ve Edward'ın kızları ve Jacob'un gelecekteki ruh eşi olarak dünyaya gelen Reneesme'dir.

Filmler için kurgulanan mekanlar filmin gotik karanlık fantezi türüne uygun olarak çekilerek üzerine romantik unsurlar eklenmiştir. Çekimlerin büyük çoğunluğu Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri'nde gerçekleştirilmiştir. Balayı çekimleri için Brezilya'nın Rio de Janeiro kenti ve Volturi için İtalya'nın Siena kenti seçilmiştir. Filmde geçen Forks kasabası ABD'nin başkenti Washington'a bağlıdır. Forks'ta geçen hikaye için seçilen bazı çekim mekanları Forks'a yaklaşık dört buçuk saat uzaklıkta Oregon'a bağlı Vernonia ve Forks'a yaklaşık beş buçuk saat uzaklıkta Kanada'nın Britanya Kolumbiyası eyaletine bağlı Vancouver'da yer almaktadır. Aşağıdaki resimde haritalar üzerinden çekim bölgesi işaretlenmiştir.



Görsel 1: Film Mekanları, Harita (Url-2)

İlk filmin yönetmeni Catherine Hardwicke kariyerine mimar olarak başlamıştır (Farina, 2010). Hikayenin kurgulandığı ilk filmin yönetmeninin mimari disiplinle çekim mekanlarına yaklaşımı, diğer eserlere de sirayet eden yaratıcı, özgün ve etkili kurgusal mekanlar tasvir edilmesini ve modern vampir mitinin kimliklendirilmesini sağlayan bir ortak dil oluşmasına sebep olmuştur. Bu nedenle kurgusal mekan bağlamında inceleme yaparken ilk filmi baz almak daha etkili bir çözümlenme olacaktır. Diğer filmlerin yönetmenleri ise Bill Condon, Chris Weitz ve David Slade'dir. İlk filmde Cullen Ailesi'nin evi Sky Lab mimarlık tarafından tasarlanan ve 2012 ASLA Oregon: 'Merit Award'a layık görülen Hoke Evi (Hoke House) isimli yapıdır. Yaklaşık 450m2 taban alanına oturan bu yapı ismini evin sahipleri John ve Karen Hoke'den almaktadır. Sky Lab evin temasını Son tasarıma dair mottosunu, "bina ayak izini en aza indirirken aynı zamanda yüzen, ormanlık ağaç ev deneyimini yükseltmesi" olarak tasvir etmiştir (Url-3). Bu bağlamda Portland, Oregon'da yer alan bu konutun mimari tasarım yaklaşımı tematik alt yapısıyla ve hedeflediği atmosfer ile modern mimaride ve iç mimaride bir mihenk taşı olan Frank Frank Lloyd Wright'ın Şelale Evi'ni (Fallingwater House) anımsatmaktadır. (Url-4)



Görsel 2: Fallingwater House (Url-5) Görsel 3: Hoke House Cullen Ailesi'nin Evi (Url-6)



Görsel 3: Fallingwater House (Url-7) Görsel 4: Hoke House Cullen Ailesi'nin Evi (Url-8)

Hoke Evi, korku kurguda çevreyle olan bağı güçlendirmek için tercih edilmiştir. Ev, ormanlık bir bölgede yer aldığı için doğal çevresiyle bütünleşecek şekilde konumlandırılmıştır. Büyük teraslar, çevredeki manzarayı iç mekanların bir uzantısı haline getirmektedir. Doğal çevreyle uyum sağlayan yapı merkezden uzaklık hissi de taşımaktadır. Yapı modernizmin sağlamlık ve dayanıklılık anlayışını temsil ederken transparanlık ile de mekanın hafifliğini artırmaktadır. Minimalist yapısı, doğal çevresini vurgulamaktadır.

Bella Swan'ın evi, Oregon'un St. Helens bölgesindeki geleneksel Amerikan kırsal mimarisine sahip bir evdir. Erken örnekleri Amerikan gotik olarak da tanımlanabilen bu konut tipolojisi ahşap dış cephe, eğimli çatı ve mütevazı bir iç mekan düzeni ile orta sınıf bir Amerikan ailesinin yaşam tarzını temsil eder. Bu evin tasarımı, Bella'nın sade ve insancıl karakterini vurgular.



Görsel 5: Swan Ailesi'nin Evi (Url-9) Görsel 6: Swan Ailesi'nin Evi İç Mekan (Url-10)

Jacob ve Billy Black'in ikametgahının olduğu sahneler, Vancouver, BC'nin bir banliyösü olan Coquitlam'da çekilmiştir. Tek katlı ve geniş araziye konumlandırılmış ev kitapla uyumluluk göstermesi adına kırmızıya boyanmıştır. Vampirlerin konutlarında olduğu gibi anlatımı çevre ile güçlendirme ve çevrede merkezden uzaklaşma söz konusudur.



Görsel 7: Black Swan Ailesi'nin Evi (Url-11)

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Edebi eser ve film tarihi mekanları efektif bir biçimde kurgulamıştır. Edebi eserde adı geçen Volturi klanının yaşam alanı Volterra, İtalya'nın Toskana Bölgesi'ndedir. Neolitik bir yerleşim yeri olan Volterra, özgün bir medeniyete sahip önemli bir Etrüsk merkezidir. Roma Dönemi'nde belediye olan kasaba beşinci yüzyılda bir piskoposluk merkezi olmuştur. Floransa Cumhuriyeti'nin 1530'da yıkılmasıyla Volterra, Medici ailesinin kontrolü altına girmiş daha sonra yönetimi Toskana Büyük Dükalığı'na geçmiştir. Meyer tarafından saat kulesi nedeniyle seçilmiştir. Ancak filmde Volturi'li sahneler İtalya'nın Siena Bölgesi'nde Montepulciano'da çekilmiştir. Çekim için kasaba, Palazzo del Comune, şarap mahzeni, tarihi merkezdeki bazı saraylar kullanılmıştır. Kitapta anlatılan, yedi metre uzunluğundaki çeşme ise ahşap ve kağıt hamurundan şekilde yeniden inşa edilmiştir. (Url-12) (Url-13)

Filmler doğayı mekânsal bir unsur olarak kullanmıştır. Alacakaranlık filminin çekimleri'de kullanılan La Push Plajı doğal bir mimari element olarak değerlendirilmiştir. La Push Plajı Steven Spielberg'ün "1941" ve "The Goonies" filmlerinin yanı sıra "Point Break" adlı sörf filminin çekimlerinde de kullanılmıştır. Diğer filmlerde sahil sahneleri Vancouver Adası'na taşınmıştır. Dalgalı okyanus, taşlı kıyılar ve geniş bir açık hava düzeni, Quileute efsanelerini ve doğayla olan bağlantıyı derinleştirmiş ve dramatik ve duygusal sahneler için fon işlevi görmüştür. (Url-14)

Filmde birden fazla yapı tek bir yapıyı edebi eserle uyumlu bir şekilde betimleyebilmek için kullanılmıştır. Forks Lisesi sahneleri ise iki ayrı okulda: cephe, dış mekan ve otopark sahneleri Kalama, WA'daki Kalama Lisesi; kantin sahneleri Portland, OR'daki Madison Lisesi'nde çekilmiştir. Eğitim amaçlı bir binanın pratik kullanıma uygun tasarımı için kullanılan iki yapının birleştirilmesi geleneksel ve modern unsurların karışımı bir kimlik ortaya koymuştur. (Url-14)

Her mekan orijinal işlevi ile kullanılmamıştır. Yeniden işlevlendirme de söz konusudur. Angela ve Jessica'nın balo elbiselerini seçtiği "Petite Jolie" elbise mağazası aslında bir kuafördür. Bella'nın vampir araştırma materyallerini satın aldığı "Thunderbird and Whale" kitapçısı aslında bir ofis binasıdır. Edward'ın Bella'ya açıldığı "Şişkin Kurbağa" İtalyan Restoranı aslında bir inşaat şirkettir. (Url-15)

Filmin mekanları çeşitlilik göstermektedir. Carver Kafe Şam (Damascus), Oregon'da yer alan, halen kafenin arkasında bulunan evde yaşayan bir karı koca tarafından inşa edilen bir restorandır. Tek katlı bir yapı olan bu restoran tipik bir kasaba restoranıdır. Balo sahnelerinin çekildiği View Point Inn Crown Point yakınlarında, Columbia Nehri Boğazı'nın, Portland şehir ışıklarının ve Vancouver'ın panoramik manzarasına sahip bir alana kurulu bir butik oteldir ve çekimlerden sonra çıkan bir yangında tahrip olmuştur. Silver Falls Eyalet Parkı Bella'nın ağaçların üzerinde oturduğu dış mekan çekimlerinin yapıldığı parktır. Oregon City Değirmeni James'in cinayet işlediği yerin çekimleri için tercih edilmiştir. Burası aynı zamanda William Friedkin'in "The Hunted" filminin de çekildiği yerdir. Squamish, Kuzey Vancouver Bölgesi, Widgeon Slough, Pitt Nehri, Port Moody diğer açık hava sahnelerinin çekimlerinde kullanılırken, Paramount Tiyatrosu, Ridge Tiyatrosu, David Thompson Lisesi BC'de bulunan diğer film mekanlarıdır. (Url-16)

4. GENEL DEĞERLENDİRME

Filmde ve kitapta Forks kasabasının seçilmesinin nedeni ABD'nin en çok yağmur alan kasabası olmasıdır. Bu nedenle yapılı çevre ve eserin atmosferi açısından etkili bir seçim olmuştur. Bu bölgede ormanlar oldukça sık ve gür bir dokuya sahiptirler. Ambiyansı vampirlerin gizliliklerini korumaya elverişlidir. Gün ışığında parlayan ciltlerinin insanlar tarafından anlaşılmasında sebebiyle vampirler için ışiksiz bir atmosfer ve gri gökyüzü ideal bir seçimdir. Fazla ziyaretçi almayan kasaba çekimlerden sonra filme ait eşyalardan oluşan bir koleksiyonun sergilendiği bir fiziksel mekan oluşturmuştur. Ayrıca her yıl festival de düzenlenmektedir. Bu kasaba turistik bir değer kazanmıştır. Anlam kazanan bir diğer bölge Siena Bölgesi'ndeki Montepulciano'dur Sinema eserleri çekildikleri mekanlara değer katmaktadır. Ancak başarısız kurgusal mekan seçimleri ziyaretçileri hayal kırıklığına uğratabilmektedir. Sinema eserleri popüler kültür nesnesi olarak çok sayıda tasarım nesnesinin ve fiziksel mekanın üretilmesini sağlar. Bu bağlamda kurgusal mekanın anlatısı multidisipliner tasarıma katkı sağlar. Kurgusal mekanın korku kurgu unsurlarını yansıtması için faydalanması gereken temel prensipler mevcuttur. Mekanın kimliklendirilmesinde yaşam alanı/konut tasarımları önemli yer tutar. Eserin başarısında mekanın bir fon ve bir anlatıcı olarak görevi büyüktür. Bu nedenle kurgusal mekanların belirlenmesinde, set tasarımlarında ve bilgisayar destekli görselleştirmelerinde profesyoneller yer almalı, şehir ve bölge planlama, mimarlık, iç mimarlık, endüstri ürünleri tasarımı gibi akademik branşlardan destek alınmalıdır.

KAYNAKÇA

Akyıldız Ercan, C., Mitolojide Çocuk Katili Kadınlar: Lilith, Lamia, Medea. *Zeitschrift für die Welt der Türken/Journal of World of Turks*, 5(1), 89-103, 2013.

Aprita, E. R., *In Chatherine Hardwicke's Twilight Movie: An Individual Psychological Approach*, Doktora Tezi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2013.

Bedoya, P. A. Team Edward or Team Jacob? The Portrayal of Two Versions of the " Ideal" Male Romantic Partner in the Twilight Film Series, İletişim Tezi, Georgia State University, 2011.

Bottéro, J. *Religion in ancient Mesopotamia*, University of Chicago Press, 2001.

Clayton, W., & Harman, S. (Eds.), *Screening Twilight: critical approaches to a cinematic phenomenon*. Bloomsbury Publishing, 2014.

Farina, F., *Personality Of Bella In Twilight Movie Directed By Catherine Hardwicke 2008: A Psychoanalytic Approach*, Doktora Tezi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2010.

Karakurt, D., *Türk söylence sözlüğü*, Xasiork, İstanbul, 2011.

Matheson, R., *I Am Legend*. New York, Gold Medal Books, 1954.

Polidori, J. W., *The Vampyre*. London, The New Monthly Magazine. 1819.

Pritchett, F. W. & Husain, I., Vikram, the Vampire, and the Story. *Journal of South Asian Literature*, 18(2), 149-152, 1983.

Rice, A., *Interview with the Vampire*. New York: Alfred A. Knopf, 1976.

Silver, A., " Twilight" Is Not Good For Maidens: Gender, Sexuality, and The Family In Stephenie Meyer's" Twilight" Series. *Studies in the Novel*, 42(1/2), 121-138, 2010.

Taylor, J., Romance and the female gaze obscuring gendered violence in the twilight saga. *Feminist Media Studies*, 14(3), 388-402, 2014.

Wardani, L. H., *A struggle for love of isabella swan in catherine hardwicke's twilight movie: An individual psychological approach* Doktora Tezi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2010

Url 1 <https://stepheniemeyer.com/books/>(Erişim tarihi: 01.12.2024)

Url 2 Google Haritalar (Erişim tarihi: 05.12.2024)

Url 3 <https://skylabarchitecture.com/work/hoke-house/>(Erişim tarihi: 07.12.2024)

Url 4 <https://dokmimarlik.com/selale-evi-doganin-kalbi/>(Erişim tarihi: 06.12.2024)

Url 5 <https://skylabarchitecture.com/work/hoke-house/>(Erişim tarihi: 07.12.2024)

Url 6 <https://dokmimarlik.com/selale-evi-doganin-kalbi/>(Erişim tarihi: 06.12.2024)

Url 7 <https://skylabarchitecture.com/work/hoke-house/>(Erişim tarihi: 07.12.2024)

Url 8 <https://dokmimarlik.com/selale-evi-doganin-kalbi/>(Erişim tarihi: 06.12.2024)

Url9 <https://twilightgirlportland.com/twilight-inside-visit-to-bella-swans-house/>(Erişim tarihi: 03.12.2024)

Url 10 <https://twilightgirlportland.com/twilight-inside-visit-to-bella-swans-house/>(Erişim tarihi: 03.12.2024)

Url 11 <https://www.tripadvisor.com/LocationPhotoDirectLink> (Erişim tarihi:01.12.2024)

Url 12 <https://www.twilightsaga.fandom.com>(Erişim tarihi: 13.12.2024)

Url 13 <https://www.visittuscany.com/en/ideas/new-moon-in-montepulciano/>(Erişim tarihi: 13.12.2024)

Url 14 <https://forkswa.com/>(Erişim tarihi: 10.12.2024)

Url 15 <https://movie-locations.com/movies/t/Twilight.php>(Erişim tarihi: 15.12.2024)

Url 16 <https://www.twilightsaga.fandom.com>(Erişim tarihi: 13.12.2024)

.

MİMARLIK TARİHİNİN İZİNİ SÜRMEK: TÜRKİYE'DEKİ LİSANS PROGRAMLARI ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME²

Eren GÜLER

Samsun Üniversitesi/ Mimarlık ve Tasarım Fakültesi
erengulersamu@gmail.com - 0009-0003-5030-7959

Mücahit ÖZTAV

Samsun Üniversitesi/ Mimarlık ve Tasarım Fakültesi
mucahitoztav42@gmail.com- 0009-0000-9542-3927

Selehattin SARIKAYA

Samsun Üniversitesi/ Mimarlık ve Tasarım Fakültesi
sarikayaselahattin4@gmail.com - 0009-0004-1025-2778

Araştırma Görevlisi Hande EYÜBOĞLU

Samsun Üniversitesi/ Mimarlık ve Tasarım Fakültesi
hande.eyuboglu@samsun.edu.tr - 0000-0003-0504-2886

ÖZET

Mimarlık eğitimi, tasarım ve uygulamaya yönelik teknik bilgi ve beceri kazandırmanın yanı sıra mimarlık disiplininin tarihsel ve kültürel temellerini anlamayı hedefleyen çok yönlü bir eğitim sürecidir. Bu eğitimin önemli bir parçası olan mimarlık tarihi, tasarım pratiğine rehberlik eden bir düşünsel bir alt yapı oluşturmaya katkı sunar. Türkiye’de bulunan üniversitelerin mimarlık lisans programlarında yer alan mimarlık tarihi derslerine bir bakış sunmayı amaçlayan bu çalışmada mimarlık tarihi dersinin güncel içeriklerini tespit etmek hedeflenmiştir. Aynı zamanda mimarlık tarihi derslerinde hangi konu başlıklarına ağırlık verildiği, küresel ve yerel tarihsel yaklaşımların nasıl dengelendiği incelenmiştir. Çalışmanın temel araştırma soruları “Türkiye’de mimarlık bölümlerinin lisans eğitim programlarında mimarlık tarihi derslerinde öne çıkan konular nelerdir?” ve “Mimarlık lisans eğitiminde mimarlık tarihi derslerinde hangi içeriklere ve anahtar kelimelere yoğunlaşılmaktadır?” oluşturmaktadır. Çalışmada ilk olarak Türkiye’de mimarlık eğitimi ile ilgili bir araştırma yapılmıştır. İkinci aşamada ise mimarlık lisans programları listelenmiştir. Çalışma kapsamında mimarlık bölümleri 2010 yılından önce kurulan üniversitelerle sınırlandırılmış olup daha köklü ve eğitim sistemine sahip

² Bu çalışma 1919B012209159 başvuru numaralı “Mimarlık Lisans Eğitiminde Mimarlık Tarihi Derslerinin İçerik Analizi” Başlıklı TÜBİTAK 2209-A projesinden üretilmiştir.

üniversitelerdeki ders içerikleri ele alınmıştır. Bunun yanı sıra program bilgilerinin eksiksiz olması örneklem seçiminde dikkat edilen diğer bir husus olmuştur. Bu doğrultuda 35 adet üniversitenin mimarlık bölümü incelenmiştir. Ardından ders bilgi paketlerinden ders içerikleri toplanmış ve dönemlere göre gruplanmıştır. Sonrasında verilerin içerik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler doğrultusunda mimarlık tarihi derslerine ilişkin ders katalogları oluşturulmuştur. Katalogların hem hali hazırda eğitim vermekte olan mimarlık bölümlerinin ders içeriklerini tetkik etmesinde hem de yeni açılacak mimarlık bölümlerinde mimarlık tarihi ders içeriklerinin oluşturulmasında Türkiye genelinde mevcut duruma dair bir rehberlik edeceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mimarlık eğitimi, Mimarlık tarihi, Ders içeriği, Türkiye

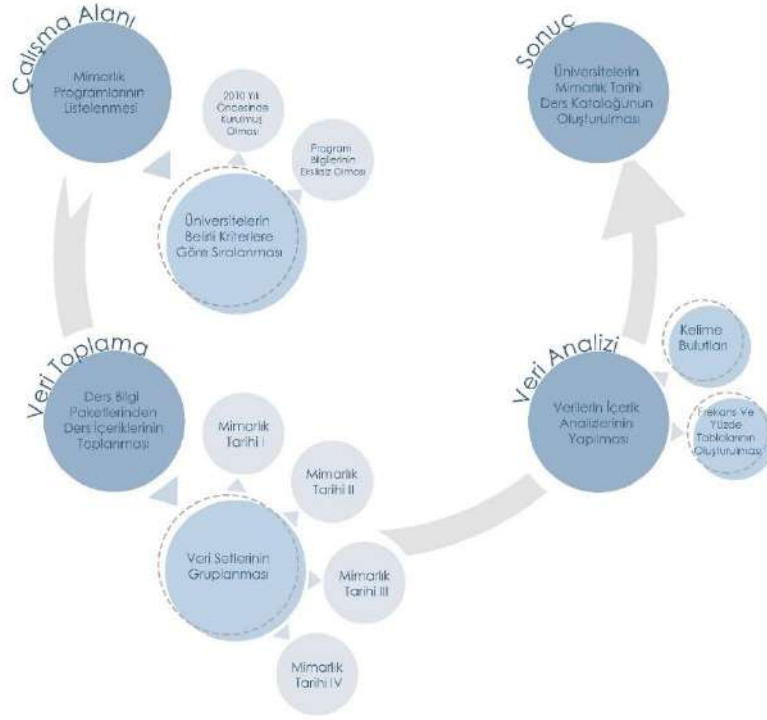
1. GİRİŞ

Mimarlık eğitimi, bireylerin ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik mekân tasarlama ve inşa etmeye ilişkin teknik, estetik, kültürel, sosyal bilgi ve becerilerin kazandırıldığı çok yönlü bir süreçtir. Bu eğitim süreci, teknik bilgi ve yeterliliklerin ötesinde sosyal, kültürel ve tarihi çeşitli bağlamları içselleştirerek mekânlar tasarımları yapmayı hedefler. Tasarım, yapı teknolojileri gibi farklı bileşenlerin birlikteliğinden oluşan mimarlık eğitiminin temel taşlarından biri de mimarlık tarihidir (Ching, 2011). Mimarlık tarihi eğitimi, tasarımın entelektüel zeminini oluşturmakla birlikte tasarıma anlam ve bağlam kazandırarak tarih süreci içerisinde mekânların evrimini ve dönüşümünü ele alır (Benian ve Mısırlı, 2017). Eleştirel bir bakış açısı kazandırarak mekânları ait olduğu dönemin özelliklerini birlikte değerlendiren mimarlık tarihi, geçmişin birikimini günümüze aktarmada önemli bir yere sahiptir (Kuban, 2007). Bu eğitim süreci, kronolojik bilgi vermenin yanı sıra yapıyı çevre tasarımında arka planda yer alan sosyal, ekonomik ve kültürel dinamikleri analiz etmeye odaklanarak öğrencilerin çok yönlü düşünme becerilerini geliştirir. Bununla birlikte zaman bilinci oluşturan bu eğitim, öğrencilere tarihsel ve kültürel farkındalık yetisi kazandırır (Leach, 2013). Bu çalışmanın konusunu ise Türkiye’de mimarlık lisans programlarında yer alan mimarlık tarihi dersleri mevcut yapısını incelemek oluşturmaktadır. Mimarlık tarihi güncel ders içeriklerinin tespit edilerek ele alınan konuların ortaya konmasına odaklanan bu çalışmanın hali hazırda eğitim vermekte olan mimarlık bölümlerinin ders içeriklerini tetkik etmesinde ve yeni kurulan mimarlık bölümlerinin ders içeriklerini planlamasına yardımcı olacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

Çalışmada Türkiye’de bulunan üniversitelerin mimarlık lisans programlarında yer alan mimarlık tarihi derslerinin içeriklerini analiz etmek amaçlanmış olup çalışmanın hedefi mimarlık tarihi derslerinde odaklanılan konuları belirlemektir. Çalışmanın araştırma soruları ise “*Türkiye’de mimarlık bölümlerinin lisans eğitim programlarında mimarlık tarihi derslerinde öne çıkan konular nelerdir?*” ve “*Mimarlık lisans eğitiminde mimarlık tarihi derslerinde hangi içeriklere ve anahtar kelimelere yoğunlaşılmaktadır?*” olarak belirlenmiştir.

Dört temel aşamada kurgulanan çalışmada ilk olarak Türkiye’de mimarlık lisans eğitimi veren üniversiteler sıralanmıştır (Görsel 1).



Görsel 1. Çalışmanın Adımları

Çalışma örneklemini 2010 yılından önce kurulan 49 adet üniversite ile sınırlandırılmış olup bu kapsamda köklü ve eğitim sistemi yerleşik programlara sahip üniversitelerin ders içerikleri ele alınmıştır. Üniversitelerin resmi internet adreslerinden elde edilen bilgiler doğrultusunda 14 adet üniversitenin mimarlık tarihi dersi veriliş durumuna ilişkin net bilgiye ulaşılamamış olup bu üniversiteler çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Bu doğrultuda 35 adet üniversite çalışmanın örneklemini oluşturmaktadır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çalışma Örneklemini

No	Üniversite Adı	Üniversite Türü	Fakülte Adı	Bölüm Adı	Kuruluş Tarihi	Eğitim dili
1.	Atatürk Üniversitesi	Devlet	Mimarlık ve Tasarım Fakültesi	Mimarlık	2010	Türkçe
2.	Atılım Üniversitesi	Vakıf	Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	2009	Türkçe
3.	Balıkesir Üniversitesi	Devlet	Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	1992	Türkçe
4.	Beykent Üniversitesi	Vakıf	Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	1997	Türkçe
5.	Bingöl Üniversitesi	Devlet	Mühendislik-Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	2010	Türkçe
6.	Bursa Uludağ Üniversitesi	Devlet	Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	1993	Türkçe
7.	Doğu Akdeniz Üniversitesi	Vakıf	Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	1991	İngilizce

8.	Dokuz Eylül Üniversitesi	Devlet	Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	1992	Türkçe
9.	Düzce Üniversitesi	Devlet	Sanat, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	1983	Türkçe
10.	Erciyes Üniversitesi	Devlet	Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	1992	Türkçe
11.	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	Devlet	Mühendislik-Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	1993	Türkçe
12.	Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi	Vakıf	Mimarlık ve Tasarım Fakültesi	Mimarlık	2010	Türkçe
13.	Gebze Teknik Üniversitesi	Devlet	Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	2008	Türkçe
14.	Girne Amerikan Üniversitesi	Vakıf	Mimarlık, Tasarım ve Güzel Sanatlar Fakültesi	Mimarlık	1993	İngilizce
15.	Harran Üniversitesi	Devlet	Güzel Sanatlar Fakültesi	Mimarlık	2018	Türkçe
16.	Hasan Kalyoncu Üniversitesi	Vakıf	Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	2009	Türkçe
17.	İstanbul Bilgi Üniversitesi	Vakıf	Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	2009	İngilizce
18.	İstanbul Teknik Üniversitesi	Devlet	Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	1944	İngilizce/ Türkçe
19.	İstanbul Ticaret Üniversitesi	Vakıf	Mimarlık ve Tasarım Fakültesi	Mimarlık	2001	Türkçe
20.	İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi	Vakıf	Mühendislik-Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	2009	Türkçe
21.	İzmir Ekonomi Üniversitesi	Vakıf	Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi	Mimarlık	2005	İngilizce
22.	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü	Devlet	Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	1994	İngilizce
23.	Karadeniz Teknik Üniversitesi	Devlet	Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	1963	Türkçe
24.	Maltepe Üniversitesi	Vakıf	Mimarlık ve Tasarım Fakültesi	Mimarlık	2009	İngilizce/ Türkçe
25.	Mardin Artuklu Üniversitesi	Devlet	Mühendislik-Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	2007	Türkçe
26.	Necmettin Erbakan Üniversitesi	Devlet	Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	2010	Türkçe
27.	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	Devlet	Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	2010	Türkçe
28.	Pamukkale Üniversitesi	Devlet	Mimarlık ve Tasarım Fakültesi	Mimarlık	2007	İngilizce
29.	Süleyman Demirel Üniversitesi	Devlet	Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	1992	Türkçe
30.	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi	Devlet	Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	2010	Türkçe
31.	Toros Üniversitesi	Vakıf	Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	2009	Türkçe
32.	Trakya Üniversitesi	Devlet	Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	1982	İngilizce
33.	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi	Devlet	Mimarlık ve Tasarım Fakültesi	Mimarlık	2004	Türkçe
34.	Yıldız Teknik Üniversitesi	Devlet	Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	1942	İngilizce/ Türkçe

35.	Yozgat Bozok Üniversitesi	Devlet	Mühendislik-Mimarlık Fakültesi	Mimarlık	2006	Türkçe
-----	---------------------------	--------	--------------------------------	----------	------	--------

Örneklemin belirlenmesinin ardından bölümlerdeki mimarlık tarihi ders içeriklerini sistematik hale getirmek, derslerin birbirini nasıl takip ettiğini gözlemlemek, ilişkileri ve farklılıkları derinlemesine inceleyebilmek amacıyla dersler lisans eğitiminde verildiği şekilde “mimarlık tarihi-I”, “mimarlık tarihi-II”, “mimarlık tarihi-III” ve “mimarlık tarihi-IV” olmak üzere dört ayrı grupta veri setleri oluşturulmuştur (Çizelge 2).

Çizelge 2. Veri setinin gruplandırılması

No	Üniversite Adı	Mimarlık Tarihi-I	Mimarlık Tarihi-II	Mimarlık Tarihi-III	Mimarlık Tarihi-IV
1.	Atatürk Üniversitesi	•	•		
2.	Atılım Üniversitesi	•	•	•	
3.	Balıkesir Üniversitesi	•	•	•	•
4.	Beykent Üniversitesi	•	•		
5.	Bingöl Üniversitesi	•	•	•	
6.	Bursa Uludağ Üniversitesi	•	•	•	
7.	Doğu Akdeniz Üniversitesi	•	•		
8.	Dokuz Eylül Üniversitesi	•			
9.	Düzce Üniversitesi	•	•	•	
10.	Erciyes Üniversitesi	•	•	•	
11.	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	•	•		
12.	Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi	•	•	•	•
13.	Gebze Teknik Üniversitesi	•	•	•	
14.	Girne Amerikan Üniversitesi	•	•		
15.	Harran Üniversitesi	•	•	•	•
16.	Hasan Kalyoncu Üniversitesi	•	•	•	
17.	İstanbul Bilgi Üniversitesi	•	•	•	
18.	İstanbul Teknik Üniversitesi	•	•	•	
19.	İstanbul Ticaret Üniversitesi	•	•		
20.	İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi	•	•		
21.	İzmir Ekonomi Üniversitesi	•	•		
22.	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü	•	•	•	
23.	Karadeniz Teknik Üniversitesi	•	•	•	•
24.	Maltepe Üniversitesi	•	•		
25.	Mardin Artuklu Üniversitesi	•	•		
26.	Necmettin Erbakan Üniversitesi	•	•	•	•
27.	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	•	•	•	
28.	Pamukkale Üniversitesi	•	•	•	
29.	Süleyman Demirel Üniversitesi	•	•		
30.	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi	•	•	•	•
31.	Toros Üniversitesi	•	•	•	
32.	Trakya Üniversitesi	•	•	•	•
33.	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi	•	•		
34.	Yıldız Teknik Üniversitesi	•	•	•	
35.	Yozgat Bozok Üniversitesi	•	•	•	

Veri setlerinin gruplandırılmasının ardından bölümlerin resmi internet adreslerinde yer alan ders içeriklerini ve amaçlarını belirlemeye yönelik kapsamlı ve detaylı bir tarama yapılmış olup sistematik bir bilgi toplama gerçekleştirilmiştir. Toplanan veri seti, analiz sürecine dâhil edilmek üzere derlenmiş ve standart bir formatta düzenlenmiştir. Bu aşamada ilk olarak kelimeler kök haline getirilmiştir. Bu işlem aynı kökten gelen kelimelerin farklı bir kelime olarak algılanmasını önlemek amacıyla yapılmıştır. Bununla birlikte bu işlem veri analizinde meydana gelebilecek ifade karmaşıklığını engellemek ve daha doğru sonuçlar elde etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bir diğer yapılan işlem ise noktalama işaretlerinin çıkarılmasıdır. Son olarak veri setinin analizinde temel kavramları belirginleştirmek ve veri seti içerisinde dikkat dağıtıcı unsurları minimize etmek için bağlaçlar ve doğrudan bir anlam ifade etmeyen kelimeler (ve, ama, ile, hem, hem de, ya da vb.) metinlerden çıkarılmıştır.

Elde edilen veri setlerinin nitel veri analizleri için özelleşmiş bir araç olan MAXQDA programında içerik analizleri yapılmıştır. Bu bağlamda içerik analizlerinde frekans değerleri, yüzde dağılımları ve kelime haritaları oluşturulmuştur. Kelime haritalarında analiz edilen veri setlerindeki frekansı en yüksek kelimeler öne çıkarılarak şemalar oluşturulmuş ve genel eğilimler ortaya konmuştur. Kelime bulutlarında kelimeler sıklıklarına göre boyutlandırılarak görselleştirilmiştir. Son olarak veri analizlerinden elde edilen bilgiler ışığında üniversitelerin mimarlık tarihi ders içerik katalogları oluşturulmuştur.

3. BULGULAR

Çalışmanın bulguları iki aşamalı ele alınmış olup ilk olarak “mimarlık tarihi-I”, “mimarlık tarihi-II”, “mimarlık tarihi-III” ve “mimarlık tarihi-IV” şeklinde her dönem verilen dersler özelinde içerik analizleri yapılmıştır. İkinci olarak ise mimarlık tarihi derslerinin genelinde en öne çıkan konulara bir bakış sunmak için genel bir değerlendirme gerçekleştirilmiştir.

3.1. Mimarlık Tarihi Ders İçeriklerinin Dönem Özelinde Değerlendirmeleri

Mimarlık tarihi-I derslerinin içerik analizine bakıldığında mimarlık (n:113), mimari (n:73), dönem (n:56) ve tarih (n:48) kelimelerinin yanı sıra tarih öncesi dönemlerden başlayarak Roma (n:25), Yunan (n:22), Mısır (n:16) dönemlerinin öne çıktığı görülmüştür. Mevcut ders içeriklerinin analizinde Yunan mimarlığının dor, iyon ve korint düzenleri gibi üslupları bu ders kapsamında öne çıkmıştır. Diğer taraftan Roma dönemi mimarlığının anıtsal yapıları, özellikle tapınaklar, su kemerleri, tiyatrolar ve yollar gibi yapı türleri dersin önemli bir parçasını oluşturduğu görülmüştür (Görsel 2 ve Çizelge 3).



Görsel 3. Mimarlık Tarihi-II Dersinin Kavram Haritası

Ayrıca, bu yapıların yalnızca mimarisi değil aynı zamanda sosyal, kültürel ve dini bağları ile mekânsal ve strüktürel özellikleri ele alınmaktadır. Aynı zamanda Osmanlı mimarisinin erken, klasik ve geç dönemleri karşılaştırmalı olarak incelenmiş olup bu mimarinin Avrupa mimarisi ile etkileşimleri de yine bu ders kapsamında işlenmektedir. Diğer taraftan bu ders kapsamında Cumhuriyet dönemi Türk mimarlığı da ele alınan konulardan bir diğerini oluşturmaktadır (Görsel 3).

Çizelge 4. Mimarlık tarihi-II dersinde öne çıkan kavramlar

No	Kavramlar	Frekans (n)	Yüzde (%)
1.	mimarlık	98	6,95
2.	mimari	67	4,75
3.	dönem	59	4,18
4.	tarih	33	2,34
5.	türk	24	1,70
6.	yapı	22	1,56
7.	anadolu	21	1,49
8.	sanat	20	1,42
9.	islam	19	1,35
10.	osmanlı	16	1,13

Mimarlık tarihi-III derslerinin içerik analizlerine bakıldığında ise Türkiye'deki üniversitelerde genellikle Anadolu (n:21) ve Türk-İslam (n:17) mimarisi ile birlikte Osmanlı mimarlığının (n:26) gelişim süreçlerine odaklanıldığı görülmüştür. Bu derslerde diğer taraftan Selçuklu (n:9) dönemi mimarisine de yer verilmiştir. Osmanlı mimarlığında Mimar Sinan'ın yapılarından Klasik Osmanlı mimarisine ve Batılılaşma Dönemi'ne kadar uzanan süreçte gelişen mimari üsluplar, yapısal ve mekânsal değişiklikler ders kapsamında öne çıkan konular arasında gelmiştir (Görsel 4).



Görsel 4. Mimarlık Tarihi-III Dersinin Kavram Haritası

Ders kapsamında yine bir önceki ders döneminde olduğu gibi bu dönemde de mimari dönemlerin karşılaştırmalı analizlerine devam edilmektedir. Öte yandan Selçuklu mimarisi gibi diğer Türk devletlerinin de mimarlık tarihindeki yeri ders kapsamında incelenen bir diğer konudur (Görsel 4 ve Çizelge 5).

Çizelge 5. Mimarlık tarihi-II dersinde öne çıkan kavramlar

No	Kavramlar	Frekans (n)	Yüzde (%)
1.	mimarlık	74	7,51
2.	mimari	45	4,56
3.	dönem	33	3,35
4.	osmanlı	26	2,64
5.	anadolu	21	2,13
6.	türk	17	1,72
7.	islam	14	1,42
8.	sanat	14	1,42
9.	değişim	12	1,22
10.	selçuklu	9	0,91

Mimarlık tarihi-IV derslerinin ders içeriklerini değerlendirildiğinde ise bu ders kapsamında Türkiye'deki üniversitelerde Osmanlı mimarlığından modernizme kadar olan süreç incelendiği görülmüştür. Ders içeriği Osmanlı mimarisi üzerindeki etkilerini, yapım teknolojilerindeki yenilikleri ve dönemin estetik anlayışı ile başlayan ders Batılılaşma Dönemi'nde Osmanlı mimarisinde yaşanan değişimler devam etmekte olup sonrasında ise modernizm ve postmodernizme ile ilerlemektedir (Görsel 5 ve Çizelge 6).



Görsel 5. Mimarlık Tarihi-IV Dersinin Kavram Haritası

Endüstri devriminden ile ortaya çıkan yenilikler, işlevsellik ve strüktürel rasyonellik gibi çeşitli ilkeler ders kapsamında değinilen diğer noktalar olmuştur. Ayrıca Türkiye’de modernizm sonrası mimari gelişmeler, Cumhuriyet Dönemi mimarlığı ve çağdaş mimarlık akımları da bu ders kapsamında yer yer ele alınmakta olup Türk mimarisinin klasik dönemden modernizme kadar geçirdiği dönüşümler ve sosyal, ekonomik ve kültürel bağlamlarını süreç içerisinde ele alınan diğer konu başlıklarını oluşturmaktadır (Görsel 5 ve Çizelge 6).

Çizelge 6. Mimarlık tarihi-IV dersinde öne çıkan kavramlar

No	Kavramlar	Frekans (n)	Yüzde (%)
1.	mimarlık	32	7,86
2.	mimari	23	5,65
3.	osmanlı	18	4,42
4.	türk	12	2,95
5.	dönem	11	2,70
6.	anadolu	9	2,21
7.	islam	8	1,97
8.	modernizm	6	1,47
9.	sanat	6	1,47
10.	klasik	5	1,23

3.1. Mimarlık Tarihi Ders İçeriklerinin Genel Perspektifine Yönelik Değerlendirmeler

Mimarlık lisans eğitimi boyunca verilen mimarlık tarihi derslerinin tümü bir arada değerlendirildiğinde ders kapsamında öne çıkan kelimeler mimarlık (n:317), dönem (n:159), tarih (n:88), yapı (n:61) ve sanat (n:58) olduğu görülmüştür. Ders kapsamında lisans eğitiminde ağırlıklı olarak tarihsel dönemlere ve kültürel çerçevelere odaklanılmıştır. Ağırlıklı olarak Anadolu mimarisi (n:66), Osmanlı mimarisi (n:61) İslam mimarisi (n:45) Bizans mimarisi gibi dönemlere odaklanmakla birlikte Roma dönemi (n:29), Rönesans dönemi (n:29) de ders içeriklerinde öne çıkan diğer konular olmuştur. Bu durum mimarlık tarihi derslerinin dünya medeniyetleri ve kültürel miras açısından geniş bir alana yayıldığını göstermektedir (Görsel 6 ve Çizelge 7).



Görsel 6. Tüm Mimarlık Tarihi Derslerinin (I-II-III-IV) Kavram Haritası

Öte yandan teknik, malzeme, konstrüksiyon ve fonksiyon kavramları başta olmak üzere dönem özelinde çeşitli yapısal ve teknik kavramların ön planda olduğu görülmektedir. Buna ek olarak kültür, sosyal, ekonomi ve politika gibi kavramları varlığı ise mimarlığın aynı zamanda sanat, toplum ve kültürel bir olgu olarak ele alınmaktadır (Görsel 6 ve Çizelge 7).

Çizelge 7. Mimarlık tarihi derslerinde öne çıkan kavramlar

No	Kavramlar	Frekans (n)	Yüzde (%)
1.	mimarlık	317	30,36
2.	mimar	208	19,92
3.	dönem	159	15,23
4.	tarih	88	8,43
5.	anadolu	66	6,32
6.	osmanlı	61	5,84
7.	yapı	61	5,84
8.	sanat	58	5,56
9.	türk	55	5,27
10.	islam	45	4,31
11.	kültürel	34	3,26
12.	avrupa	31	2,97
13.	teknik	30	2,87
14.	roma	29	2,78
15.	rönesans	29	2,78
16.	modern	28	2,68
17.	dünya	27	2,59
18.	üslup	27	2,59
19.	toplumsal	26	2,49
20.	selçuklu	24	2,30

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Mimarlık tarihi dersleri, geniş bir tarihsel yelpazeyi kapsayan ve öğrencilerin mimarlık tarihini keşfetmelerini hedeflemektedir. Dersler kronolojik bir tarih süreci ile birlikte çeşitli kültürler ve dönemler arasındaki ilişkileri ortaya koyan bir yapıya sahiptir. Bu işleyiş ile mimarlık tarihi dersleri öğrencilerin farklı coğrafyaların mimari gelişimlerine dair bilgi edinmelerini ve bu gelişimlerin sosyo-kültürel bağlamlarını kavramalarına olanak tanımaktadır. Mimarlık tarihi derslerinin aşamalı olarak verilmesi öğrencilerin lisans eğitimi boyunca daha derinlemesine bilgi sahibi olmaları, kavramsal becerilerini aşamalı olarak geliştirmeleri noktasında önemlidir. Çalışmada yapılan analizler ışığında hem eğitim öğretim faaliyetine yeni başlayacak olan hem de mimarlık tarihi ders müfredat programını revize edecek olan mimarlık bölümlerine bir referans oluşturması niteliğinde bir ders kataloğu oluşturulmuştur (Çizelge 8).

Çizelge 8. Mimarlık tarihi ders içerik kataloğu

No	Üniversite Adı	Mimarlık Tarihi-I Kavram Şeması	Mimarlık Tarihi-II Kavram Şeması	Mimarlık Tarihi-III Kavram Şeması	Mimarlık Tarihi-IV Kavram Şeması
1.	Atatürk Üniversitesi				
2.	Atılım Üniversitesi				
3.	Balıkesir Üniversitesi				
4.	Beykent Üniversitesi				
5.	Bingöl Üniversitesi				
6.	Bursa Uludağ Üniversitesi				
7.	Doğu Akdeniz Üniversitesi				

8.	Dokuz Eylül Üniversitesi				
9.	Düzce Üniversitesi				
10.	Erciyes Üniversitesi				
11.	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi				
12.	Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi				
13.	Gebze Teknik Üniversitesi				
14.	Girne Amerikan Üniversitesi				
15.	Harran Üniversitesi				
16.	Hasan Kalyoncu Üniversitesi				
17.	İstanbul Bilgi Üniversitesi				

18.	İstanbul Teknik Üniversitesi	mimarlık coğrafi çağ süreklilik	mimarlık coğrafi çağ süreklilik	mimarlık akım dönem tartışma	
19.	İstanbul Ticaret Üniversitesi	devir endüstri devrim mimarlık	dünya türk cephe estetik endüstri dikkate mimarlık anlayış		
20.	İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi	bizans mimarlık tarih	dönem batı coğrafya mimarlık avrupa		
21.	İzmir Ekonomi Üniversitesi	tarih ekonomi mimarlık	tarih ekonomi tarih mimarlık		
22.	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü	çeşitlilik kentleşme bina politik malzeme teknik mimarlık	dönem teknik kültür bina roma mimarlık işlev	mimarlık teknik inşaa hareket kültürel toplumsal disiplin	
23.	Karadeniz Teknik Üniversitesi	dönem mimarlık tarih mimari gotik	dönem anadolu tarih mimarlık osmanlı	mimarlık rönesans mimarlık osmanlı	mimarlık modernizm bauhaus art idealizmi postmodernizm
24.	Maltepe Üniversitesi	dönem işlevsel ortadoğu yapılarık mimarlık anadolu mimarlık dönem avrupa tarih mekansal	endüstri mekân işlevsel kentsel yapı mimari tarih mekansal		
25.	Mardin Artuklu Üniversitesi	tarihi gelişim mimarlık	tarihi gelişim mimarlık		
26.	Necmettin Erbakan Üniversitesi	gelişim yapı mimarlık anadolu mimarlık dönem avrupa tarih mekansal	medeniyet barok gotik ortaçağ mimarlık islambizans roman	mimarlık mekansal anadolu konfigürasyon mimarlık	mimarlık ekspressionist konstruktivist modernite minimalizm dekonstruktivizm
27.	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	dönem mekân sanat mimarlık anadolu mimarlık dönem avrupa tarih mekansal	mimarlık osmanlı ulusal islam medeniyet selçuklu cumhuriyet	mimarlık endüstri dekonstruktivizm geçmodernizm	

28.	Pamukkale Üniversitesi				
29.	Süleyman Demirel Üniversitesi				
30.	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi				
31.	Toros Üniversitesi				
32.	Trakya Üniversitesi				
33.	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi				
34.	Yıldız Teknik Üniversitesi				
35.	Yozgat Bozok Üniversitesi				

Eğitim-öğretim faaliyetine yeni başlayacak ya da müfredatını revize etmeyi planlayan mimarlık bölümlerinin mimarlık tarihi ders içeriklerine yönelik öneriler aşağıda sıralanmıştır:

- Mimarlık tarihi dersleri belirli tema ve/veya dönemlere ayrılarak modüller şeklinde oluşturulabilir ve her seviyede belirli bir dönemin mimari anlayışına ve bununla birlikte o dönemin kültürel, sosyal ve ekonomik koşulları ile birlikte derinlemesine bir ders içeriği tasarlanabilir. Böylelikle öğrenciler tarihsel süreçleri ve evrimsel gelişmeleri adım adım daha iyi bir şekilde öğrenebilecektir.
- Farklı mimarlık dönemlerinin birbirleri ile karşılaştırmalı analizler ile incelenerek dönemlerin benzerlik ve farklılıkları, üslup anlayışları arasındaki geçişler ve tarih

süreci içerisindeki evrimi ders kapsamında ortaya koyulabilir. Her konuyu kendine özgü bağlamı içerisinde derinlemesine incelemek ve birbiri ile karşılaştırmak öğrencilerin analitik ve karşılaştırmalı düşünme beceri yeteneklerini geliştirecektir.

- Mimarlık tarihi derslerinin disiplinler arası bir yapıya kavuşturulması, öğrencilerin farklı perspektiflerden faydalanmasını sağlayacaktır. Tarih, sosyoloji, sanat tarihi ve arkeoloji gibi alanlardan edinilecek bilgi ve analizler, mimarlık tarihi derslerinin derinliğini artırarak öğrencilerin mimari yapıları daha geniş bir bağlamda değerlendirmesine olanak tanıyacaktır. Bu tür bir yaklaşım, öğrencileri aynı zamanda kültürel ve toplumsal yansımaları ile de ilgilenmelerini teşvik edeceği düşünülmektedir.
- Mimarlık tarihi derslerinde öğrencilere sadece bilgi aktarmak değil, aynı zamanda eleştirel düşünme becerilerini geliştirmek de hedeflenmelidir. Öğrenciler, tarihî yapı ve dönemlerin analizinde yalnızca betimsel bilgilere dayanmak yerine, mimari üslupların ardında yatan sosyal, politik ve ekonomik etkileri de sorgulamalıdır. Bu sayede öğrenciler, geçmiş dönemlerin mimari anlayışlarını değerlendirirken çağdaş mimari yaklaşımlara da eleştirel bir bakış açısıyla yaklaşabilirler ve gelecekteki tasarımlarına daha bilinçli bir temel oluşturabilirler.
- Çalışma kapsamında analiz edilen ders içeriklerinden yola çıkarak mimarlık tarihi dersleri iki ve üç dönem kapsamında ele alınabileceği gibi dört ana ders kapsamında da verilebilir. İlk seviye mimarlık tarihi derslerinde ağırlıklı olarak tarih öncesi ve antik medeniyetlerine odaklanılırken, ikinci seviyede Yunan, Roma, Bizans, gotik vb. gibi klasik ve ortaçağ dönemlerine yoğunlaşılabilir. Üçüncü seviyede İslam ve Osmanlı mimari anlayışı derinlemesine incelenebilirken dördüncü seviyede ise modern mimarlık anlayışı ve akımlarına yönelim gösterilebilir. Böylece öğrenciler zaman şeridinde mimarlık tarihi üzerinde kapsamlı ve detaylı bir bilgi sahibi olabilir ve her dönemin temel anlayışını detaylı bir şekilde kavrayabilecektir.

KAYNAKÇA

1. Benian, E. ve Mısırlı, A., *Mekân Deneyiminin Mimarlık Tarihi Eğitimine Katkısı*. Uluslararası Stratejik Araştırmalar Kongresi, Antalya, Türkiye, 2017.
2. Ching, F. D. K., *Architecture: Form, Space, and Order*, New York: John Wiley & Sons, 2011.
3. Kuban, D., *Mimarlık Kavramları*, İstanbul: YEM Yayın, 2007.
4. Leach, A., *What is Architectural History?*, John Wiley & Sons, 2013.

ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE OF MANUFACTURING ENTERPRISES IN ALBANIA AND FUTURE CHALLENGES

Ina VEJSIU¹, Erald KOLA², Saimir BEQO³

¹ Agricultural University of Tirana, Faculty of Forestry Sciences 0009-0009-7849-7129

² Agricultural University of Tirana, Faculty of Forestry Sciences, 0009-0003-4333-7295

³ Agricultural University of Tirana, Faculty of Forestry Sciences, 0009-0003-5482-6182

ABSTRACT

The wood processing industry and furniture manufacturing industry in Albania is undergoing significant transformations. To assist in this transformation, some of the main companies in the country have organized themselves and enrolled in WICA (Wood Industry Cluster of Albania). This cluster plays a key role in promoting collaboration among enterprises, strengthening production networks, and facilitating the exchange of knowledge and best practices. Participation in this association brings positive effects, such as increased competition, innovation, and easier access to international markets.

To assess the current state of the industry and the challenges it faces, a survey was conducted among key stakeholders, including business owners, employees, and industry experts. This survey utilized a mixed-methods approach, combining quantitative data from structured questionnaires with qualitative insights from interviews. The findings highlighted critical challenges such as the lack of adequate infrastructure, administrative barriers, and the need for skilled labor. This survey was conducted by the WICA and Faculty of Forestry Sciences representatives.

Despite recent improvements, there is a high demand for a qualified workforce, which is essential to support high production standards and compete in global markets. To ensure sustainable development in the industry, it is necessary for enterprises to invest in new technologies and establish collaborative strategies with educational institutions and government agencies. This will help strengthen workforce capabilities and contribute to the sustainable growth of the manufacturing sector in Albania, enhancing benefits for all stakeholders involved.

Keywords: WICA, wood processing, surveys, innovation, improvements

1. INTRODUCTION

The manufacturing sector is a vital component of Albania's economic landscape, serving as a critical driver for growth, job creation, and technological advancement. Following the transition from a centrally planned economy to a market-oriented structure in the early 1990s, Albania has witnessed significant changes in its manufacturing capabilities. The current state of manufacturing enterprises in Albania is characterized by a mixture of traditional and modern practices, with sectors such as textiles, food processing, and metalworking standing out as crucial contributors to the country's GDP.

Despite showcasing potential for growth and development, Albanian manufacturing faces a myriad of challenges. These include aging infrastructure, limited access to finance, insufficient domestic raw materials, and a need for modernization and skill development among the workforce [1]. The globalization of trade has also introduced stiff competition from neighboring countries, urging local enterprises to innovate and adapt to remain viable. Furthermore, environmental sustainability and compliance with international standards have become increasingly important, pushing manufacturers to rethink their operational practices [2].

To comprehensively assess the current state of its enterprises, it is essential to explore not only the economic indicators, such as production output and employment rates, but also qualitative aspects like technological adoption, workforce skills, and the overall regulatory environment. A recent conference on industrial development highlighted that embracing smart manufacturing technologies is crucial for competitiveness and efficiency [3]. Additionally, the integration of Industry 4.0 technologies poses both an opportunity and a challenge, requiring enterprises to invest in advancements that enhance productivity [4].

As Albania endeavors to move towards a more competitive manufacturing ecosystem, several challenges must be addressed to ensure sustainability and growth. Key issues include enhancing infrastructure to support industry needs, improving access to financing for small and medium-sized enterprises (SMEs), and fostering a skilled workforce through targeted education and training programs [5]. Policies aimed at creating an attractive investment climate, promoting innovation, and enhancing collaboration between the private sector and government institutions are crucial for overcoming these challenges [6].

Looking forward, the commitment to enhancing environmental sustainability and meeting international standards will be paramount. The importance of developing a circular economy has been emphasized in recent studies, highlighting its potential to transform Albania's manufacturing landscape to be more resilient and sustainable [7].

In conclusion, while the manufacturing industry in Albania shows promise, it is accompanied by numerous challenges requiring strategic intervention. A comprehensive assessment that considers both current capabilities and future hurdles is critical for stakeholders aiming to position Albania's manufacturing sector on a path toward sustainable growth and competitiveness in the global market.

2. METHODS

This study is based on a questionnaire conducted with some of the largest companies in the furniture and woodworking industry in Albania. Survey research is defined as “the collection of information from a sample of individuals through their responses to questions” [8]. Survey research is a useful and legitimate approach to research that has clear benefits in helping to describe and explore variables and constructs of interest [9]. In survey research, we used sampling techniques to collect data from a group of companies. This allows us to get a picture of what is happening in that group. We also use data collection tools to help us collect this information. And finally, we use data analysis techniques to understand what this data means [10]. Questionnaires are used to answer questions and solve problems, to assess needs, to set goals, to determine whether goals have been achieved, to form the basis for future

comparisons, to analyze and explain trends over time and what exists in general, in what quantity and at what level .

The aim of this questionnaire is to provide an overview of the raw wood industry from the producer’s perspective. This perspective is related to various issues and connected with different aspects, from their activities, starting from the problematics with the workforce to their qualification, recognition and acts for environmental protection, etc.

The questionnaires were delivered to each of the companies selected to be interviewed. Initially, the questions and the purpose of asking each question were explained. The companies had a period of one week to answer these questions. This is done so that the companies are not influenced by the interviewer while they are filling in their answers. The questions are of the Closed-end type and the companies are forced to select only one of the listed answers. Then, using the Excel program, graphs are built for each answer and we are able to see visually how the companies have responded

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of interviews with some of the furniture and other wood products manufacturers companies in Albania are presented in the table below. From this data, taken from the perspective of the manufacturers, we can reach some important conclusions about the current state of the Wood Processing Industry as well as the future of this industry.

Table 1. Results of survey

How do you assess the current situation of the furniture manufacturing industry?			
Very good	Good	Average	Poor
8	7	0	0
2. Which of the issues is the most important?			
Raw material	Technology	Workforce	Management
3	4	7	1
3. How important is government support for the wood industry?			
Very important	Important	Unimportant	No support
3	9	3	0
4. How do you assess access to raw materials?			
Sufficient	Average	Insufficient	Serious problem
4	8	3	0
5. Do you export the product?			
A lot	Average	Little	Not at all
6	6	4	0
6. What is the impact of technology on increasing the efficiency of the industry?			
Very High	Moderate	Low	No impact
10	4	1	0
7. Is there a shortage of skilled labor in this industry?			
A lot	Average	A Little	Not at all

9	6	0	0
8. How does the current legislation on forest protection affect the development of this industry?			
Positively	Negatively	Slightly Affects	Not at all
4	5	6	0
9. Are there improvements in the export of processed wood products?			
A lot	Slightly	A little	No improvements
6	6	3	0
10. What are the main challenges for Albanian wood exports?			
Quality	Standards	Competition	Infrastructure
3	5	5	3
11. Is the wood industry integrated with tourism in Albania?			
A lot	Moderately	Slightly integrated	Not at all integrated
10	4	1	0
12. How do you assess the role of vocational training in this sector?			
Important	Moderately	Slightly important	Not at all
8	7	0	0
13. What is the division between imported and locally produced raw materials?			
Mostly foreign production	A little foreign production	Mostly domestic production	Little domestic production
8	5	2	0
14. What are the most demanded products in the domestic market of wood-based products?			
Furniture	Parquet	Doors-Windows	Other type
7	0	2	6
15. Does Albania have the capacity to meet the needs of the domestic market with wood products?			
Fully	Moderately	Slightly	Not at all
6	7	2	0
16. What is the impact of climate change on the supply of wood in Albania?			
Large	Medium	Small	Not at all
3	6	5	1
17. How do you assess the support of institutions for the implementation of environmental sustainability?			
Very committed	Committed	Slightly committed	Not committed at all
18. What measures do you think should be taken to improve this industry?			
Investment in technology	Financial support	Professional training	Environmental protection
5	3	6	1
19. How do you assess the quality of furniture produced in Albania?			
Very high	High	Average	Low
2	8	4	0
20. What is the most important factor for you when producing a new furniture model?			

Price	Quality	Design	Material
3	6	3	2
21. How do you assess the price of furniture produced in Albania?			
Very competitive	Competitive	Average	High
3	5	5	2
22. What is the warranty period for the furniture produced by you?			
5 years	3 years	1 year	No warranty
6	4	5	0
23. What marketing methods do you use?			
Online media	Radio	TV	other
9	2	3	0
24. How do you see the future of this sector?			
Much better	Better	Same	Worsened
6	6	3	0

From the table results, it is worth noting that for Albanian companies the current situation of the manufacturing industry is assessed as “Very good”. This is a fairly positive starting point, related to both manufacturers and furniture consumers and other market players. This assessment comes in the face of difficult conditions for the development of their activity, where among the main problems they mention the lack of labor force and the technological level.

In logical flow with the results of the answers to the first two questions is the result of the answers to the third question, which is related to the support of this sector by the government, where in the vast majority of companies see the role of the government as important in supporting their activity.

The raw material in this industry is not seen as a problem by the manufacturers. Mainly furniture manufacturers use melamine or MDF panels as raw material, which they obtain from imports. Companies that produce their products from solid wood have problems with securing raw materials, this is due to the fact that in our country we have in force Law No. 5/2016 “ON THE DECLARATION OF A MORATORIUM ON FORESTRY IN THE REPUBLIC OF ALBANIA”.

It is also worth noting that our companies export their products outside Albania. This comes as a result of the connections they have with certain people in foreign countries, mainly Europe and the USA, but also with the fact that in terms of product quality, products made in Albania are easily comparable to products produced abroad.

Another factor that affects the level of exports is the fact that our companies are very flexible in their offer. This means that they are ready to undertake the realization of the product according to the requirements of customers, according to their specific order and not based on the models presented in the showroom or catalogs. It should not be forgotten that such an enterprise also requires great flexibility in technology, capable and ready to produce a wide range of products within a short time.

Investments in technology are at high levels. Mainly our companies are equipped with contemporary technology. Thus we can mention investments made in NC beam saw, CNC

drilling machines, 5 axial CNC routers, PU edgebanding machine, surface treatment machines, automated lines for painting and drying the product, etc.

Like every good thing that has a bad thing, technological development has brought another problem, which is the lack of qualified labor force. For this purpose, several steps and initiatives have been taken. We can mention the project “Fostering sustainable development in the Albanian wood sector through improved manufacturing capacities and skills training”, financed by slovenian government and implemented by UNIDO.

The use of modern technology as well as high-quality raw and auxiliary materials greatly facilitate the conditions of transport and the possibilities to export products. This is easier when we are dealing with private clients outside Albania. Difficulties arise when a product certificate is required, since in our country we do not have laboratories for its testing and certification.

One of the most widespread forms of marketing in our country is advertising in online media, where we would list Instagram and Facebook as the most preferred platforms. This form of marketing has certainly brought increased visibility to their activity abroad, without being hindered by administrative borders. A fact worth noting is that in most cases customers remain satisfied with the products they receive. This ensures continuity and growth of customers.

In conclusion, we can say that the situation of furniture manufacturers in Albania is satisfactory but presents some important challenges for its future. This industry has successfully faced the challenges of development in a market competition that is often unfair and has adapted to an economic reality that includes not only our country, but also foreign markets. This study results in the need for professional training, testing laboratories for their products.

As it was predicted in earlier studies by the authors, It should be emphasized that the transition to a circular economy also requires continuous staff training, which still presents some challenges for our companies [11] .

As for the future, it is intended to strengthen cooperation between companies and universities regarding wood treatment methods, product design as well as professional education.

REFERENCES

- [1] Shkupi, D., Hyseni, A., & Haxhiu, I. (2021). Manufacturing Challenges in Albania: A Sector Analysis. *Journal of Management and Economic Studies*. World Bank. (2023). Albania Economic Update: Transforming the Economy.
- [2] Goga, H., Miftari, A., & Kushi, A. (2023). *Sustainability in Albanian Manufacturing: Current Practices and Future Directions*. Conference on Sustainable Industrial Development.
- [3] Krasniqi, A. (2022). *Emerging Trends in Albanian Manufacturing: Insights from the 2022 Industrial Development Conference*. Conference Proceedings
- [4] Institute for Nature and Development. (2022). *The Future of Manufacturing in Albania: Innovations and Opportunities*. Retrieved from [Institute for Nature and Development Website].
- [5] Bardhi, M., & Ahmeti, F. (2023). *Financing Options for SMEs in Albania: Challenges and Opportunities*. *Journal of Business Studies*.

- [6] Cakuli, D., & Dino, J. (2023). *Government Policies and Their Impact on the Manufacturing Sector in Albania: A Policy Review*. Conference on Economic Development.
- [7] Mullai, A. (2023). *Circular Economy in Albanian Manufacturing: A Path to Sustainability*. International Journal of Economics and Business Research
- [8] Check, J., & Schutt, R. K. (2012). Survey research. In J. Check & R. K. Schutt (Eds.). *Research methods in education*. (pp.159–185). Thousand Oaks, CA: Sage Publications
- [9] Ponto, Julie. (2015). Understanding and Evaluating Survey Research. *Journal of the advanced practitioner in oncology*. 6. 168-17
- [10] Gül, Yavuz. (2023). A theoretical perspective on survey method from quantitative research methods. *Universum*. 4. 64-68. 10.32743/UniPsy.2023.106.4.15254.
- [11] Vejsiu, I., & Kola, E. (2024). Circular economy toward a sustainable concept in the wood processing sector in Albania. *Advanced Engineering Science*, 4, page numbers.

PINUS NIGRA GROWTH DYNAMICS MODULATED BY COMPETITION AND CLIMATE VARIABILITY

Edmond PASHO¹, Arben Q. ALLA², Leonard LLESHI³

¹Agricultural University of Tirana, Faculty of Forestry Sciences, <https://orcid.org/0000-0001-5699-4858>

²Agricultural University of Tirana, Faculty of Forestry Sciences, <https://orcid.org/0000-0002-6937-2940>

³Agricultural University of Tirana, Faculty of Forestry Sciences,

ABSTRACT

This study aimed at evaluating tree growth variability and the influence of climatic factors and competition on a *Pinus nigra* plantation located in north Albania. Field sampling consisted of dendrometric measurements (diameter at breast height (dbh), height, crown radius (CR)) and radial growth samples (earlywood (EW), latewood (LW), tree-ring width (TRW)); the latter were measured and analysed using dendrochronological methods. Prior to the analysis, trees were classified in two classes (dominant trees (DT) and suppressed trees (ST)) based on the social status. ANOVA was used to compare growth of trees within the study area and between social classes whereas linear regression analysis was employed to assess the relationship of growth variables with Hegyi competition index. Pearson correlation analysis was performed to evaluate the association among radial growth components, as well as the impact of climate on radial growth variability. Growth variables were statistically different between the social classes. Radial growth components showed higher values in social class DT as compared to the ST social class. Hegyi index showed significant negative correlation with growth variables (TRW, dbh, CR) when all trees were considered but varied when trees were grouped based on the social status. In the social class DT, EW growth was positively/negatively affected by summer precipitation/temperature whereas LW growth was positively associated with precipitation (march, summer and total) and negatively with summer temperatures. TRW showed positive relationship with precipitation in May, June and July, and negative association with August temperature. In the social class ST, EW growth showed positive and significant relationship with August precipitation and negative association with temperatures in August and September of the previous year and August of the current year. LW demonstrated positive association with summer precipitation and negative correlation with previous September, current March, July and August temperatures. TRW presented positive relationship with summer and December precipitation whereas previous September and current July and August temperatures negatively affected TRW. Findings of this study serve as a basis to identify the most appropriate strategies to mitigate the impacts of climate change on growth of this species. **Keywords:** *Pinus nigra*, growth, climate, competition, social classes.

1. INTRODUCTION

Forest ecosystems have a significant impact on the environment. Protection, restoration and increase of forest areas constitute an essential factor for mitigating the negative impacts on the environment. Planting different tree species and origins suitable for possible future climates in Europe has been suggested as a vital strategy supporting the adaptation of European forest

ecosystems to climate change (Temperli et al., 2012). Plantations of *P. nigra* have expanded throughout the world as this species is characterized by rapid growth and large volume production, modest ecological requirements, adaptation to poor soil conditions, erosion control, improvement of water quantity and quality, carbon sequestration and storage, etc (Rollinson, 2012). Climate is the most important environmental factor influencing radial growth of trees (Fritts, 1976). Studies carried out in *P. nigra* have highlighted the dependence of radial growth on spring precipitation (Linares and Tíscar, 2010; Martín-Benito et al., 2010), and previous fall moisture and cool conditions (Camarero et al., 2013). Warm conditions during the late winter and early spring also promoted the production of broad annual rings in wet areas but had the opposite effect in dry areas as they caused reduction of wood growth in summer and early autumn (Galván et al., 2015). (Andreu et al., 2007) observed that rainfall in summer positively affects the radial growth of *P. nigra*.

Pinus nigra is a widely distributed species in the Mediterranean basin where summer droughts are frequent. In this region, climate warming increases water stress and thus has a negative impact on growth of this species, while in Central Europe, climate change is thought to lead to an expansion of its range (Boisvenue and Running, 2006). In Albania, *P. nigra* is one of the most important forest species in terms of altitudinal distribution and productivity (Levanič and Toromani, 2010). The natural extent of *P. nigra* in Albania is found in Puka, Qafë Shtama, Elbasan, Llogara, Mirdita and Fushë Arrëz. It is also widely used for afforestation, providing cover for the terrain, protecting soil from erosion, and producing significant amounts of wood material.

This study aimed to assess the growth variability and analyse the response of a *P. nigra* plantation to climate conditions. The objectives of this study were to evaluate the: (1) growth dynamics (diameter at breast height (dbh), earlywood (EW), latewood (LW), tree-ring width (TRW), height, crown radius) and the relationships among growth variables in *P. nigra*; (2) impact of climate and competition on tree growth of *P. nigra* plantation. The findings of this study will potentially provide information on the degree of adaptation of *P. nigra* plantations to changing climate conditions and competition stress, therefore, supporting the management strategies of these forests in the country.

2. METHODS

2.1 Study area

Study area is located in the district of Shkodra (42°06'57"N; 19°43'51"E), 975 m a.s.l, moderate slope (25%), south-west aspects and is covered by *P. nigra* trees. Climate is mild and wet in autumn and winter, while spring and summer are drier and hotter. Soils are brown and dark brown located on limestone and flysch formations.

2.2. Sampling and data collection

In 2021, a *P. nigra* plantation site was sampled on a circular area of 500 m². For each tree, the diameter at breast height (d.b.h), height, distance from the nearest neighboring tree and the four-crown radius were measured. The social status of trees was determined (Kraft, 1884) by grouping them in two social classes: (1) dominant trees (DT) and (2) suppressed trees (ST). For each tree, two radial growth samples were extracted to assess seasonal (earlywood and latewood) and annual (ring width) variability in diameter growth.

2.3. Preparation of radial growth samples, measurement, and standardization

All samples were first subjected to visual cross-dating. Then, earlywood (EW), latewood (LW) and tree-ring (TRW) width were measured using a LINTAB device (Rinntech, Germany) and the program TSAP with an accuracy of 0.001 mm. The quality of visual cross-dating was verified using the COFECHA program (Holmes, 1983). The radial growth data were subjected to a detrending (negative linear or exponential function, and spline functions) and standardization process (dimensionless growth indices) (Cook and Peters, 1997; Shestakova et al., 2017). Standardized series of all trees within a study area were averaged to obtain mean growth series of EW, LW and TRW.

The quality of chronologies was assessed by using dendrochronological statistical indicators (Briffa and Jones, 1990) such as: mean width (MW) of EW, LW and TRW growth series, first order autocorrelation (AC1), the expressed population signal (EPS), the average relationship between the growth series within the study area (R_{bar}), the average relative difference between the width of consecutive rings (MSx). The study period considered for both social classes (DT, ST) was 1985-2018 since all radial growth chronologies showed values of $EPS > 0.85$, which indicates high representativeness of the forest stand variability in the average growth series (Wigley et al., 1984). The statistical indicators of the chronologies are presented in (Table 1). Standardized series of EW, LW and TRW were used for subsequent statistical analysis.

2.4 Calculation of the tree competition index

The Hegyi competition index (Hegyi, 1974) was used to evaluate the competition pressure on each tree within the sampled area. The Hegyi index ($HgCI_j$) is calculated as it follows:

$$H_g CI_j = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{dist_{ij}} \quad (1)$$

where d_i and d_j are the d.b.h. of competitor j and target tree i , respectively, and $dist_{ij}$ is the distance between trees i and j .

2.5 Climatic data

Climate data used in this study were obtained from the Global Climate Scientific Research Unit (CRU) TS3.24.01 dataset (<http://climexp.knmi.nl>) and consisted of mean monthly temperature and total monthly precipitation for the period 1985-2021 (Harris et al., 2014). The data were obtained from the 0.5° resolution square of this database (lat = 41-41.5N, long = 20-20.5E) which also includes the study area. For the description of climate in the study area, average monthly temperatures, total monthly precipitation, as well as the seasonal and annual values of these variables, for the time period 1985-2021, were taken into consideration.

2.6 Statistical analysis

ANOVA statistical analysis was performed to compare mean values of variables considered in the study (tree height, d.b.h., distance to nearest tree, crown radius, EW, LW and TRW). This analysis considered trees between social classes (DT, ST) to assess whether growth parameters present statistically significant differences between the two social classes. Pearson correlation coefficient was used to evaluate the association among radial growth variables and to analyze the influence of climate on radial growth. Radial growth variables were correlated with average monthly temperatures, total monthly precipitation, as well as seasonal and annual values of the

climatic parameters. The period considered for the correlations was from May of the previous year to December of the current growth year. The association between radial growth variables and the climatic variables was considered significant for $p \leq 0.5$ for all correlation analyses. Linear regression was used to model and analyse the relationship between Hegyi competition index and growth variables by fitting a linear equation to the observed data.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Variability and patterns of radial growth

The average width of radial growth components varied between social classes showing clearly higher values in social class DT (Table 1). In social class DT, the average value of EW was 2.30 mm, that of LW was 2.18mm, while the TRW was 4.48 mm. Regarding social class ST, the average width of EW was 1.66 mm, that of LW was 1.51 mm, while the TRW was 3.09 mm. For all trees, the radial growth components ranged in values of 1.98 mm for the EW, 1.84 for the LW and 3.78 mm for the TRW. The highest value of AC1 was observed in TRW in the social class ST while the lowest value for the LW was obtained in the social class DT. The values of MSx were higher for the LW in social class ST, while lower for the TRW in social class DT. Rbar showed the highest values for the EW in the ST social class, while the lowest values for LW were in the DT social class. The EPS was characterized by almost equal values for all growth variables in both social classes, while the lowest value of this indicator was observed in the social class ST and specifically in LW and TRW.

Table 1. Statistics of radial growth chronologies (EW, earlywood width; LW, latewood width; TRW, tree-ring width) for each social class (DT, ST)

Variables	Trees (radii)	Time span	MW (mm)	SD (mm)	AC1	MSx	Rbar	EPS
EW	41 (76)	2000 – 2021	2.30	1.21	0.73	0.29	0.71	0.99
DT LW	41 (79)	2000 – 2021	2.18	1.04	0.61	0.31	0.75	0.99
TRW	41 (81)	2000 – 2021	4.48	2.16	0.74	0.26	0.75	0.99
EW	31 (52)	1999 – 2021	1.66	1.06	0.80	0.30	0.94	0.99
ST LW	31 (53)	1999 – 2021	1.51	1.10	0.77	0.36	0.59	0.98
TRW	31 (53)	1999 – 2021	3.09	2.10	0.82	0.29	0.63	0.98

Statistics: MW – mean width; SD – standard deviation of width; AC1 – first order autocorrelation; MSx – mean sensitivity; Rbar – mean correlation between series; EPS – expressed population signal. Abbreviations: DT – dominant trees; ST – suppressed trees.

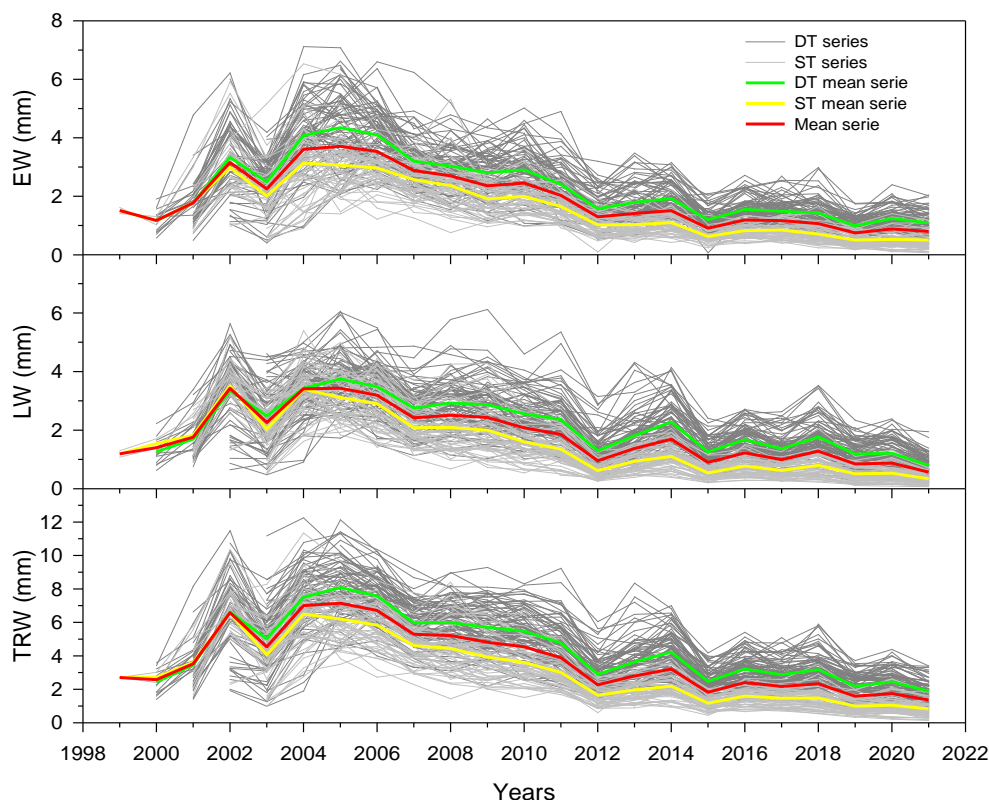


Figure 1. Raw radial growth chronologies (EW – earlywood width, LW – latewood width, TRW – tree-ring width) of *Pinus nigra* in the study area. Abbreviations: DT – dominant trees; ST – suppressed trees

Both social classes showed variability in the average values of radial growth parameters which suggests a high dependence on climatic factors. *P. nigra* trees presented high interannual radial growth variability (Figure 1). EW, LW and TRW showed a trend of increasing growth until year 2005, followed by a period (2005-2021) of growth reduction (Figure 1). Years with marked reduction in EW were 2003, 2012 and 2015, while years with significant increase in EW were 2002, 2004, 2005, 2010, 2014. EW showed higher growth values compared to LW during the entire period, within the respective social classes. The greatest variation in annual radial growth resulted in LW and social class ST. Statistically significant changes were found between all growth variables in the two social classes, except for neighbour tree diameter (Table 2). This result suggests that within the stand, growth space available is limited for the trees of social class ST, which showed lower growth compared to the trees of DT social class.

Table 2. Mean values \pm standard error of growth variables and their statistical parameters (F, P) for each social class (DT, ST)

	Nr. trees	Height (m)	dbh (cm)	Neighbor tree dbh (cm)	Distance to neighbor (m)	Mean crown radius (m)
DT	41	10.4 \pm 0.2	22.0 \pm 0.7	18.9 \pm 0.9	1.56 \pm 0.08	2.15 \pm 0.07
ST	31	8.2 \pm 0.3	14.8 \pm 0.4	17.3 \pm 0.9	1.15 \pm 0.10	1.51 \pm 0.05
<i>F</i>		32.93	69.74	1.42	9.98	55.35
<i>P</i>		<0.0001	<0.0001	0.2376	0.0023	<0.0001

Abbreviations: DT – dominant trees; ST – suppressed trees.

EW, LW and TRW showed statistically significant changes in mean growth values, in both social classes (Figure 2).

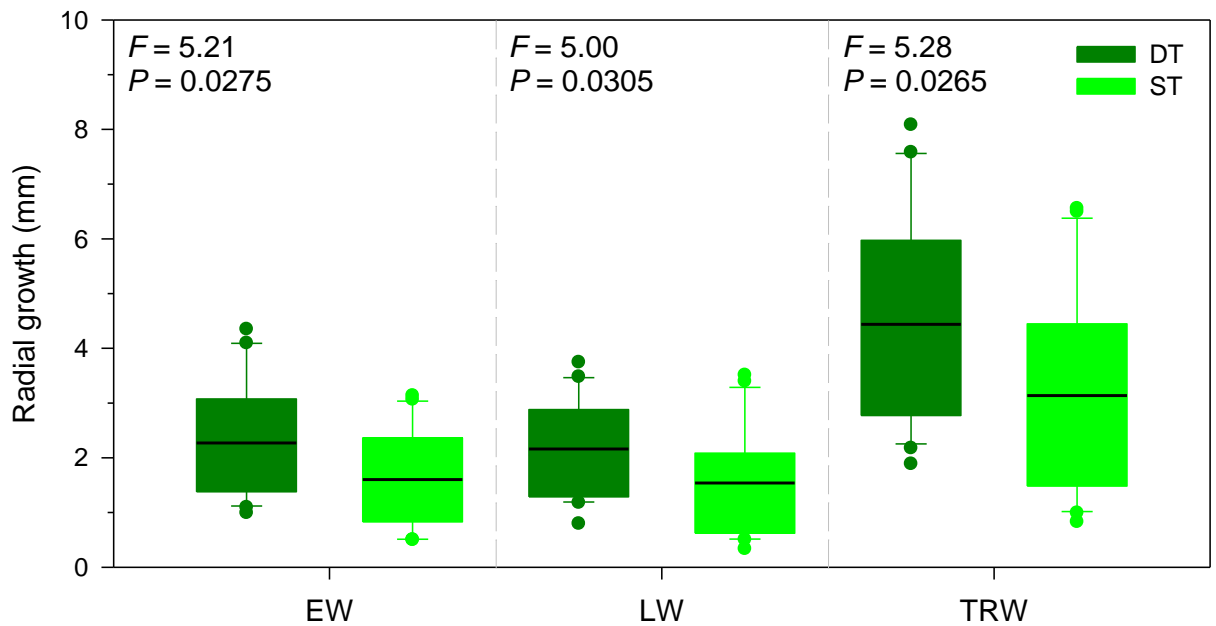


Figure 2. Comparison of radial growth variables (EW – earlywood, LW – latewood, TRW – tree-ring width) between dominant trees (DT) and suppressed trees (ST) of *Pinus nigra* in the study area. The black horizontal line represents the mean value.

These changes were more pronounced in case of TRW between social classes DT and ST. The larger growth space available for trees in the social class DT are also reflected in the greater growth of the TRW compared to the social class ST where trees lack the necessary living space.

EW and LW growth showed statistically significant relationship between them as well as with TRW in both social classes (Table 3). The strongest association was achieved between EW and TRW which was higher in the social class DT. Radial growth variables also showed positive impact on the following year's growth, for both social classes, suggesting influence of the current year growth on the following year growth. These relationships are stronger in the case of ST social class, since the suppressed trees depend more than dominant trees on the reserves accumulated from the previous year.

Table 3. Significant correlation values ($P < 0.05$) between radial growth variables (EW, LW, TRW) for each social class (DT, ST) and all trees (T)

	DT			ST			T		
	EW	LW	TRW	EW	LW	TRW	EW	LW	TRW
LW	0.972			0.966			0.965		
TRW	0.994	0.991		0.99	0.992		0.991	0.991	
EW _{t+1}	0.798	0.746	0.783	0.831	0.83	0.837	0.831	0.8	0.825
LW _{t+1}	0.753	0.701	0.737	0.736	0.752	0.751	0.766	0.759	0.771
TRW	0.788	0.736	0.772	0.787	0.795	0.798	0.808	0.789	0.808

Abbreviations: EW –earlywood width; LW – latewood width; TRW – tree-ring width; DT – dominant trees; ST – suppressed trees; T – all trees; t+1 – next year.

3.2 The impact of competition on growth of *P. nigra* trees

Hegyí competition index showed significant and negative impact on all growth variables (Figure 3). TRW of all trees and that of the respective social classes (DT and ST) presented great dependence on Hegyí index as statistically significant negative linear relationships were found between them. Growth reduction of TRW was associated with increase in competitive

pressure among individual trees in the stand. The relationship between TRW and Hegyi index was stronger when all trees were considered, followed by ST and DT social classes. Diameter also showed significant and negative relationship with Hegyi index, particularly in the social class DT. Crown radius presented significant negative correlations with all trees but not with social classes separately. The greater competition between trees, the lower space available for crowns' extension, solar radiation and heat, and the smaller is growth. The competition for living space is clearly observed at the crowns level as they interact with each other in an effort to benefit maximally from solar radiation and heat.

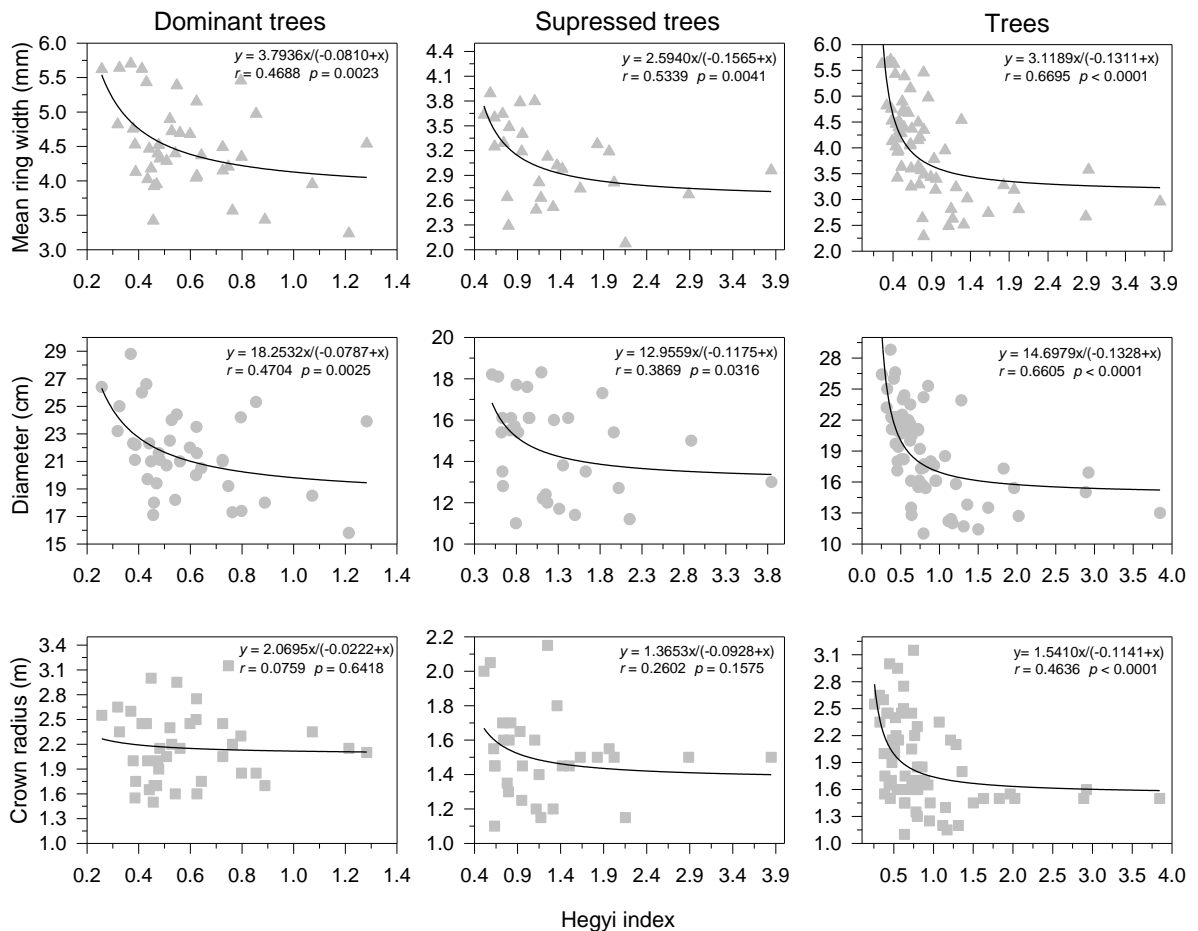


Figure 3. Relationship between growth variables and the Hegyi competition index. For each case, regression equation, correlation values between the variables (r) and the confidence level (p) are presented.

3.3. Climate-growth relationships

Significant influence of precipitation and temperature on radial growth components in both social classes was found. In the DT social class, EW was positively/negatively related with precipitation/temperature during the summer months (Figure 4). LW was positively influenced by March, summer and total precipitation, and negatively by the temperature during summer period. TRW showed positive relationship with May, summer and total precipitation as well as negative association with summer temperatures, mainly in August. In the ST social class, EW showed positive/negative and significant relationship with August precipitation/temperature. LW showed significant positive relationship with precipitation during the summer. Previous year September temperatures and current year March, July and August temperatures had negative impact on LW growth. TRW showed positive and significant relationship with

summer and December precipitation, as well as negative association with previous (September) and current year (summer) temperature.

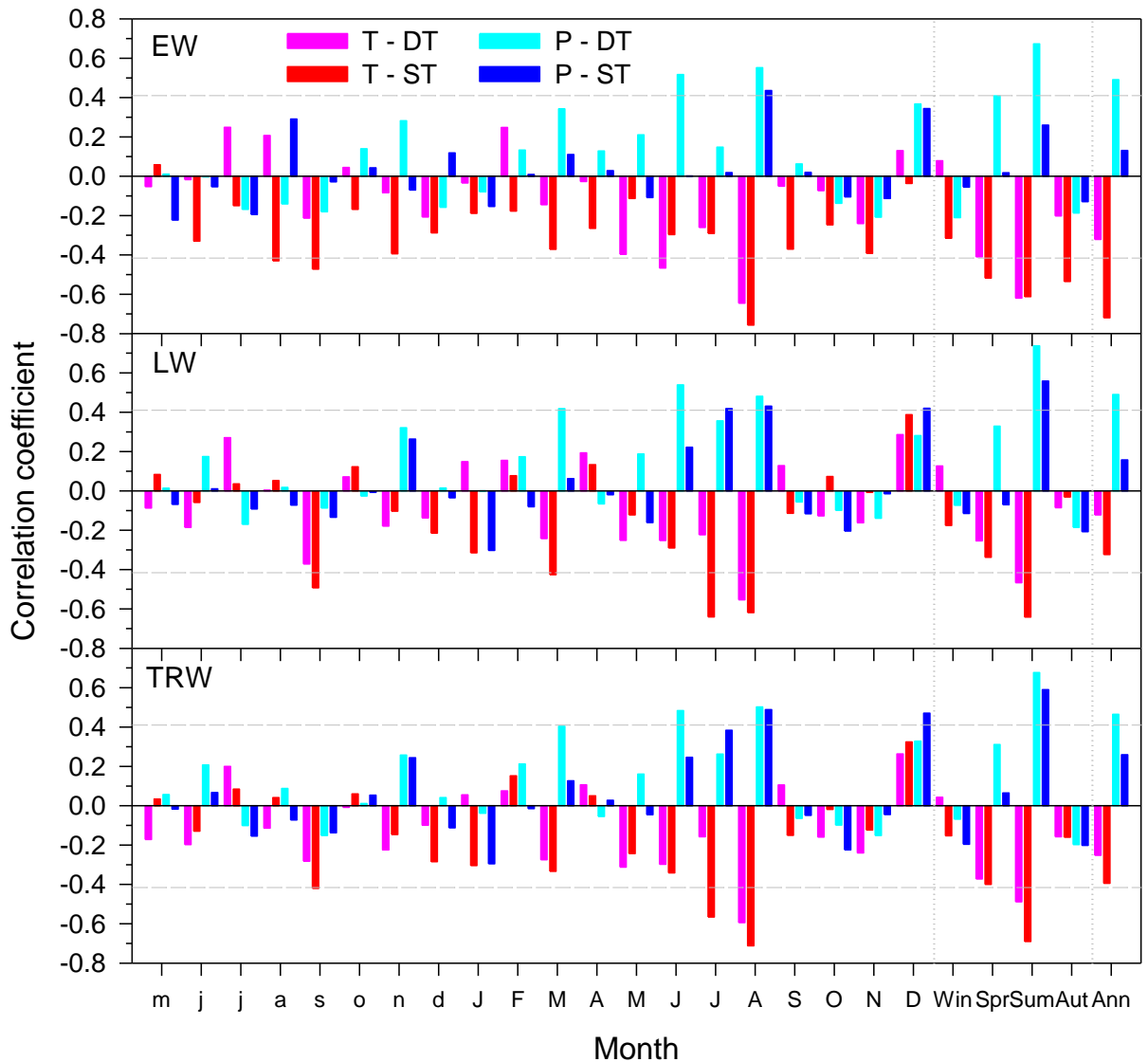


Figure 4. Pearson correlation coefficients calculated between residual chronologies of radial growth variables (EW – earlywood, LW – latewood, TRW – tree-ring width) of dominant (DT) and suppressed (ST) trees and climatic (T – mean temperature, P – precipitation) monthly (small letters represent the months of the previous year, while the capital ones represent the months of the current year), seasonal and annual data. The grey dashed horizontal line represents the $P < 0.05$ significance level threshold.

The associations between *P. nigra* radial growth and summer temperatures (negative) and precipitation (positive) are consistent with previous studies in the Mediterranean region (Andreu et al., 2007; Macias et al., 2006; Sarris et al., 2011). According to Levanič and Toromani (2010), the response of *P. nigra* chronology to local climatic conditions is strong, particularly to monthly June temperature (negative). A similar result was also observed by Martín-Benito et al. (2010), who found that dominant and suppressed trees had a similar pattern of growth response to climatic variables. In both studies, temperature showed variable and significant influence on growth, changing from negative (spring, summer) to positive (late autumn) in different seasons. Growth was negatively affected by high temperature in the late summer and early fall of the previous year.

4. CONCLUSION

P. nigra showed high growth variability within social classes. Growth variables presented significant statistical differences between social classes where the highest growth values were found in the DT social class. Competition significantly influenced growth variables in the stand, in both social classes. The response of trees of the ST social class to the competition index was higher as compared to the DT social class. Summer precipitation favoured tree growth in social class DT, while summer temperatures had a greater negative impact on trees in ST social class. The findings of this study should be used to identify the most suitable strategies to mitigate the impacts of predicted climate changes on growth of *P. nigra* plantations.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge the forestry service of Shkodra municipality for the support provided in the field.

6. REFERENCES

- Andreu, L., Gutiérrez, E., Macias, M., Ribas, M., Bosch, O., and Camarero, J. J. (2007). Climate increases regional tree-growth variability in Iberian pine forests. *Global Change Biology*, 13(4), 804–815. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01322.x>
- Boisvenue, C., and Running, S. W. (2006). Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology*, 12(5), 862–882. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01134.x>
- Briffa, K. R., and Jones, P. D. (1990). Basic chronology statistics and assessment. In E. R. Cook and L. A. Kairiukstis (Eds.), *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences* (pp. 137–152). Kluwer Academic Publishers.
- Camarero, J. J., Manzanedo, R. D., Sanchez-Salguero, R., and Navarro-Cerrillo, R. M. (2013). Growth response to climate and drought change along an aridity gradient in the southernmost *Pinus nigra* relict forests. *Annals of Forest Science*, 70(8), 769–780. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0321-9>
- Cook, E. R., and Peters, K. (1997). Calculating unbiased tree-ring indices for the study of climatic and environmental change. *The Holocene*, 7(3), 361–370. <https://doi.org/10.1177/095968369700700314>
- Fritts, H. C. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press.
- Galván, J. D., Büntgen, U., Ginzler, C., Grudd, H., Gutiérrez, E., Labuhn, I., and Camarero, J. J. (2015). Drought-induced weakening of growth–temperature associations in high-elevation Iberian pines. *Global and Planetary Change*, 124, 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.11.011>
- Harris, I., Jones, P. D., Osborn, T. J., and Lister, D. H. (2014). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—The CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34(3), 623–642. <https://doi.org/10.1002/joc.3711>
- Hegyí, F. (1974). A simulation model for managing jack pine stands. In G. Fries (Ed.), *Growth models for tree and stand simulation* (Vol. 30, pp. 74–89). Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser.
- Holmes, R. L. (1983). Computer-assisted quality control in tree ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 43, 69–78.
- Levanič, T., and Toromani, E. (2010). Austrian pine (*Pinus nigra* Arnold.) tree-ring width chronology from northeast Albania-preliminary results. In *TRACE – Tree rings in Archaeology, Climatology and Ecology* (pp. 104–109).

- Linares, J. C., and Tiscar, P. A. (2010). Climate change impacts and vulnerability of the southern populations of *Pinus nigra* subsp. *Salzmannii*. *Tree Physiology*, 30(7), 795–806. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq052>
- Macias, M., Andreu, L., Bosch, O., Camarero, J. J., and Gutiérrez, E. (2006). Increasing aridity is enhancing silver fir (*Abies Alba* Mill.) water stress in its South-Western distribution limit. *Climatic Change*, 79(3–4), 289–313. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9071-0>
- Martín-Benito, D., Del Río, M., Heinrich, I., Helle, G., and Cañellas, I. (2010). Response of climate-growth relationships and water use efficiency to thinning in a *Pinus nigra* afforestation. *Forest Ecology and Management*, 259(5), 967–975. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.12.001>
- Rollinson, S. W. (2012). Growth of a Pine Tree. *The American Biology Teacher*, 74(9), 620–627. <https://doi.org/10.1525/abt.2012.74.9.5>
- Sarris, D., Christodoulakis, D., and Körner, C. (2011). Impact of recent climatic change on growth of low elevation eastern Mediterranean forest trees. *Climatic Change*, 106(2), 203–223. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9901-y>
- Shestakova, T. A., Camarero, J. J., Ferrio, J. P., Knorre, A. A., Gutiérrez, E., and Voltas, J. (2017). Increasing drought effects on five European pines modulate $\Delta^{13}\text{C}$ -growth coupling along a Mediterranean altitudinal gradient. *Functional Ecology*, 31(7), 1359–1370. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12857>
- Temperli, C., Bugmann, H., and Elkin, C. (2012). Adaptive management for competing forest goods and services under climate change. *Ecological Applications*, 22(8), 2065–2077. <https://doi.org/10.1890/12-0210.1>
- Wigley, T. M. L., Briffa, K. R., and Jones, P. D. (1984). On the average value of correlated time-series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23(2), 201–213.

GROWTH DYNAMICS IN *ABIES ALBA* AND *PINUS NIGRA* MODULATED BY CLIMATIC VARIABILITY

Edmond PASHO¹, Arben Q. ALLA², Fatos KOKA³

¹Agricultural University of Tirana, Faculty of Forestry Sciences, <https://orcid.org/0000-0001-5699-4858>

²Agricultural University of Tirana, Faculty of Forestry Sciences, <https://orcid.org/0000-0002-6937-2940>

³Protected areas administration, Elbasan,

ABSTRACT

This study aimed at evaluating the dynamics of primary (vegetation indices) and secondary (radial growth) growth in two forest species (*Abies alba* and *Pinus nigra*) located in national park Shebenik, Albania, and assessing their response to climate variability. Field sampling consisted of dendrometric measurements (tree height, diameter at breast height (d.b.h), distance from the neighbor tree, crown radius) and radial growth samples (earlywood, EW, latewood, LW, tree-ring width, TRW); the later were measured and analyzed using dendrochronological methods. Vegetation activity was evaluated by means of two vegetation indices: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Enhanced Vegetation Index (EVI). ANOVA was used to compare growth variables between species whereas Pearson correlation analysis was employed to assess the relationship between radial growth (EW, LW, TRW) and climatic variables (monthly mean temperatures, monthly total precipitation). NDVI and EVI increased during spring, reached maximum values in summer, and decreased in fall, in both species. The highest/lowest values of NDVI and EVI were observed in *A. alba*/*P. nigra* site. Dendrometric variables were statistically different between the two species and indicated higher values in *A. alba* than *P. nigra*. Radial growth components showed high interannual growth variability in both species, but growth was statistically higher in *P. nigra*. In both species, TRW was influenced by EW growth and LW growth whereas LW growth showed also dependence on EW growth. In *P. nigra*, September precipitation and spring temperatures influenced positively the growth of EW and TRW whereas LW growth was correlated positively with August precipitation and March temperatures. In *A. alba*, LW growth was positively affected by March temperature and August precipitation; the latter also influenced positively TRW. Findings of this study are useful to identify appropriate strategies for the proper management of *A. alba* and *P. nigra* stands in the future, focused on mitigating the impacts of warming and droughts on growth of these species.

Keywords: *Abies alba*, *Pinus nigra*, growth, climate, vegetation indices.

1. INTRODUCTION

Climate is the most important environmental factor affecting the radial growth of forest trees (Fritts, 1976). Mediterranean region, where water availability is the main limitation for plant growth (Cherubini et al., 2003; Martínez-Vilalta et al., 2008), are particularly sensitive to temperature increases and changes in the frequency and intensity of drought events (Giorgi and Lionello, 2008; IPCC, 2014). The predicted climate changes for the Mediterranean region (rising temperatures of 2-4°C and a decrease in soil water availability of about -20%) during the 21st century (IPCC, 2014) could lead to higher soil moisture deficits during growing seasons and thus alter forest productivity (Boisvenue and Running, 2006). Mediterranean conifer forests are expected to be more sensitive to climate warming as the phenology and wood production

of these forests is closely related to water reserves in the soil, therefore, periods of drought can significantly affect their growth for many years to come (Kramer et al., 2000).

Abies alba is an evergreen conifer species that forms an essential part of the landscapes in Central and South-Eastern Europe (Mauri et al., 2016). *A. alba* is sensitive to summer drought as it responds to lack of water in summer by reducing the secondary growth in its populations (Camarero et al., 2018; Gazol et al., 2018; Rozas, 2005). Currently, it is one of the most economically important conifers in Albania as it occupies an area of about 16,060 ha and represents 9.3 percent of conifer forests of the country (Zeneli et al., 2004). Natural forests of *A. alba* include pure and mixed forests with other conifers, such as *P. nigra*, or broadleaved species such as *Fagus sylvatica* and *Acer pseudoplatanus*. *Pinus nigra* is an evergreen conifer species widely distributed in the Mediterranean basin which grows in both extremely dry and humid habitats with significant tolerance to temperature fluctuations (Isajev et al., 2004). In Albania, *P. nigra* is one of the most important forest species, in terms of its distribution and productivity. *P. nigra* forests in the country extend over a wide altitudinal range 900-2000 m above sea level and can reach heights of up to 55 m and diameters up to 1 m (Levanič and Toromani, 2010). They can be found in natural state and plantations.

Variability of primary production and biomass accumulation (carbon fixation) in forests is widely evaluated using vegetation indices derived through Remote Sensing techniques (Danelichen et al., 2015; Xiao et al., 2004). Vegetation indices are often used to evaluate the chlorophyll content in leaves and the amount of photoactive radiation absorbed by the leaves, enabling estimates of the photosynthetic activity of plants (Garbulsky et al., 2013; Tucker et al., 1985; Wang et al., 2004). Among the vegetation indices, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Enhanced Vegetation Index (EVI) are the most widely used to evaluate variation in photosynthetic activity of vegetation (Huete et al., 2002; Kaufmann et al., 2008). Many studies have proven the relationship between vegetation indices, photosynthetic activity and forest growth (Alla et al., 2017; Kaufmann et al., 2008; Pasho and Alla, 2015). NDVI is sensitive to changes in vegetation condition and accurately detects forest damage and regeneration (Carlson and Ripley, 1997). However, EVI index improves the vegetation signal in areas with dense forests and allows for better monitoring of photosynthetic activity by reducing atmospheric influences (Huete et al., 2002).

This study aims to assess the growth variability and analyze the response of *A. alba* and *P. nigra* to ecological site conditions. The objectives of this study are to: (1) analyze and evaluate vegetation activity (NDVI, EVI) and growth dynamics (diameter at breast height (dbh), tree height, crown radius, earlywood (EW), latewood (LW), tree-ring width (TRW)) in *A. alba* and *P. nigra* species located in National Park Shebenik, central Albania; (2) compare growth parameters between the two species and (3) investigate the impact of climate (temperature, precipitation) on radial growth of these species.

2. METHODS

2.1 Study area

The study sites are in Qarrishtë, which is an integral part of the Shebenik National Park. *A. alba* site is located at 41°14'22"N and 20°24'33"E, 1510 m.a.s.l, slope 5-10%, southwest aspects and brown soils. The stand is composed of *A. alba* trees mixed with *F. sylvatica* seedling. *P. nigra* site is distributed at 41°14'14"N and 20°23'56"E, 1375 m.a.s.l, slope 8-10%, southwest aspects and brown soils. The upper story is composed of planted *P. nigra* and natural *F. sylvatica* trees while the understory is composed of several shrubs and herbaceous species. The climate is mountainous Mediterranean, characterized by relatively cold and wet autumn and winter, while spring and summer are dry and cool. The condition of *A. alba* trees was good, with tall trees of

large sizes and well-developed crowns. The condition of *P. nigra* stand was also good, with relatively well-developed but high-density plantations.

2.2 Evaluation of vegetation activity

The variability of photosynthetic activity in *A. alba* and *P. nigra* was assessed by means of two vegetation indices, NDVI and EVI. These indices were calculated using the Landsat 8 satellite images of the study area downloaded from <https://earthexplorer.usgs.gov/>, in WGS-84 projection. Prior to analysis, the images were cut using the border of National Park "Shebenik" and then the vegetation indices NDVI and EVI were calculated using the formulas:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED})}$$

where: NIR is solar radiation in the near infrared band and RED is radiation in the red band.

$$\text{EVI} = 2.5 * \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + 6\text{RED} - 7.5\text{BLU} + 1)}$$

where: BLUE is solar radiation in the blue band.

Values of NDVI and EVI were obtained be-weekly at each site based on the geographical coordinates, and mean monthly values were calculated for the period 2011-2021.

2.3. Sampling and data collection

The sampling took place in spring 2022. Initially, at each site were recorded the geographic coordinates, elevation a.s.l, slope of the terrain and aspect. For each randomly selected tree, the diameter at breast height (d.b.h), height and four cross-sectional crown radius were measured. Then, two radial growth samples were taken with Pressler increment borer to assess seasonal (EW and LW) and annual (TRW) variability in diameter growth. Samples were stored in plastic holders and transported safely to the laboratory.

2.4. Preparation of radial growth samples, measurement and standardization

The radial growth samples (after air drying) were mounted on wooden holders and polished to make the annual rings fully visible with a binocular microscope and their dating accurate. All samples were initially subjected to visual cross-dating, which is a procedure that guarantees accuracy in identifying the year in which the annual ring is formed. Then, earlywood (EW), latewood (LW) and tree-ring (TRW) width were measured using the device LINTAB (Rinntech, Germany) and the program TSAP with an accuracy of 0.001 mm. The quality of visual cross-dating was verified using the COFECHA program (Holmes, 1983). The radial growth data were subjected to a detrending (negative linear or exponential function, and spline functions) and standardization process (dimensionless growth indices), which minimizes the effect of biological influences (age) on radial growth and other interferences (e.g., fires, pests, etc), thereby preserving the variability in radial growth data potentially linked to climate (Cook and Peters, 1997; Shestakova et al., 2017). Standardized series of all trees at each site were averaged to obtain mean growth series of EW, LW and TRW.

The quality of chronologies was assessed by using dendrochronological statistical indicators such as: mean width (MW) of EW, LW and TRW growth series, first order autocorrelation (AC1) which assesses the influence of previous year growth on the following year growth, the expressed population signal (EPS), the average relationship between the growth series within the study area (Rbar), the average relative difference between the width of

consecutive rings (MSx). The study period was 1930-2021 for *A. alba* and 1985-2021 for *P. nigra* as all chronologies of radial growth showed values of $EPS > 0.85$, which indicates high representativeness of forest stand variability in the average growth series (Wigley et al., 1984). The statistical indicators of the chronologies are presented in (Table 1). Standardized series of EW, LW and TRW were used for subsequent statistical analysis.

2.5 Climatic data

Climatic variability in the study area was quantified by means of mean monthly temperature, total monthly precipitation, seasonal and total yearly precipitation for the period 1901-2021. Climatic data were obtained from the Global Climate Scientific Research Unit (CRU) TS3.24.01 dataset (<http://climexp.knmi.nl>) with spatial resolution 0.5° square (lat = 41-41.5N, long = 20-20.5E) which includes the study area (Harris et al., 2020). Based on this database, monthly precipitation in the study area varies from 121.4 mm (November) to 38.7 mm (July) whereas the highest values of temperature are observed in July (19.8°C) and the lowest ones in January (0.3°C).

2.6 Statistical analysis

ANOVA was employed to compare mean values of growth variables between *A. alba* and *P. nigra* (tree height, d.b.h., distance to the nearest tree, crown radius, EW, LW and TRW) and assess whether growth parameters are statistically different between species. Pearson correlation coefficient was used to evaluate the relationship among radial growth components and to analyze the impact of climate on radial growth. Radial growth variables of *A. alba* and *P. nigra* were correlated with average monthly, temperatures and total monthly precipitation as well as seasonal and annual values of the above climate variables, for the period 1985-2020. The period considered for the correlations was from May of the previous year to December of the growth year. The association between radial growth and climatic variables was considered significant for $p \leq 0.5$ for all correlation analyses.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Variability of photosynthetic activity in *A. alba* and *P. nigra*

Vegetation indices showed similar pattern of variability between species, which was characterized by increase of NDVI and EVI values during spring, maximum NDVI and EVI values in summer, followed by a gradual decrease in fall (Figure 1). The highest values of NDVI and EVI were found in *A. alba* while the lowest values were observed in *P. nigra* (Figure 1). This indicates that *A. alba* is characterized by higher photosynthetic activity during the growing season compared to *P. nigra*. NDVI showed higher values compared to EVI, but the latter offered a clearer model of variation in photosynthetic activity of trees during the growing season, especially in the *A. alba* site (Figure 1).

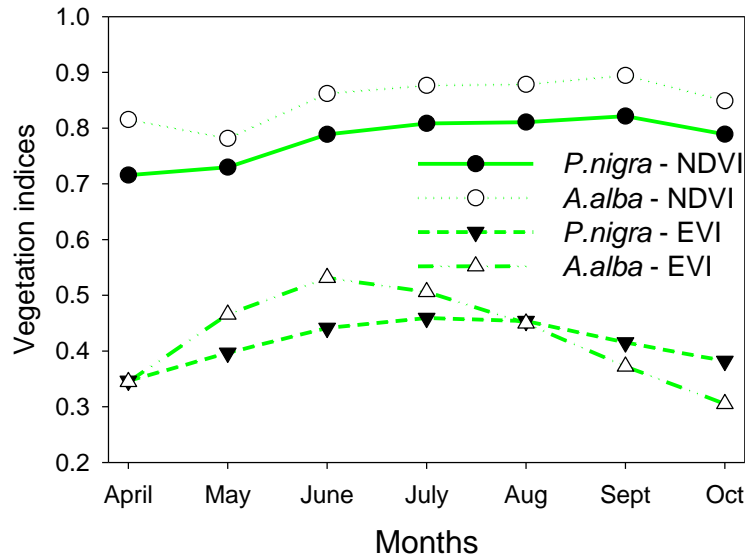


Figure 1. Variability of mean monthly values of NDVI and EVI for each species, for the growing season (April-October) and the period 2011-2021

3.2. Variability and patterns of growth

P. nigra trees showed higher radial growth, MSx, Rbar and EPS than *A. alba* trees (Table 1). The latter showed higher values of AC1 than *P. nigra*. In both species, the highest value of AC1 and MSx was observed in TRW while the lowest one in LW. Rbar was higher in TRW for both species and lower at LW/EW for *A. alba*/*P. nigra* site chronologies, respectively. The EPS showed higher values for TRW and lower ones in LW/EW for *A. alba*/*P. nigra*, respectively.

Table 1. Statistics of radial growth chronologies (EW, earlywood width; LW, latewood width; TRW, tree-ring width) for each species

	Variables	Trees (radii)	Time span	MW (mm)	SD (mm)	AC1	MSx	Rbar	EPS
<i>A. alba</i>	EW	22 (42)	1893 – 2021	1.40	0.92	0.90	0.24	0.43	0.94
	LW	22 (42)	1893 – 2021	0.69	0.43	0.83	0.27	0.33	0.91
	TRW	22 (42)	1893 – 2021	2.09	1.32	0.91	0.21	0.48	0.95
<i>P. nigra</i>	EW	24 (48)	1985 – 2021	2.06	1.10	0.77	0.27	0.52	0.98
	LW	24 (48)	1985 – 2021	1.33	0.75	0.64	0.37	0.61	0.99
	TRW	24 (48)	1985 – 2021	3.39	1.75	0.76	0.26	0.67	0.99

Statistics: MW – mean width; SD – standard deviation of width; AC1 – first order autocorrelation; MSx – mean sensitivity; Rbar – mean correlation between series; EPS – expressed population signal.

A. alba chronologies showed stable and low radial growth for the period 1920-1960 (Figure 2). Afterwards, a noticeable growth increase was observed in radial growth components until 1973, followed by gradual reduction of radial growth until the year 2021. The period 1970-1980 was generally characterized by a marked growth increase in *A. alba* trees, most likely in response to human disturbances/management which may have changed the growth conditions for *A. alba* trees. As a matter of fact, *A. alba* and *F. sylvatica* stand was managed in the past by harvesting the *F. sylvatica* trees, increasing the growing space available for *A. alba* trees. *P. nigra* chronologies showed high interannual growth variability during the period 1985-2021. Radial growth components were generally characterized by increase in width until 1990, followed by growth reduction afterwards (1991-2021).

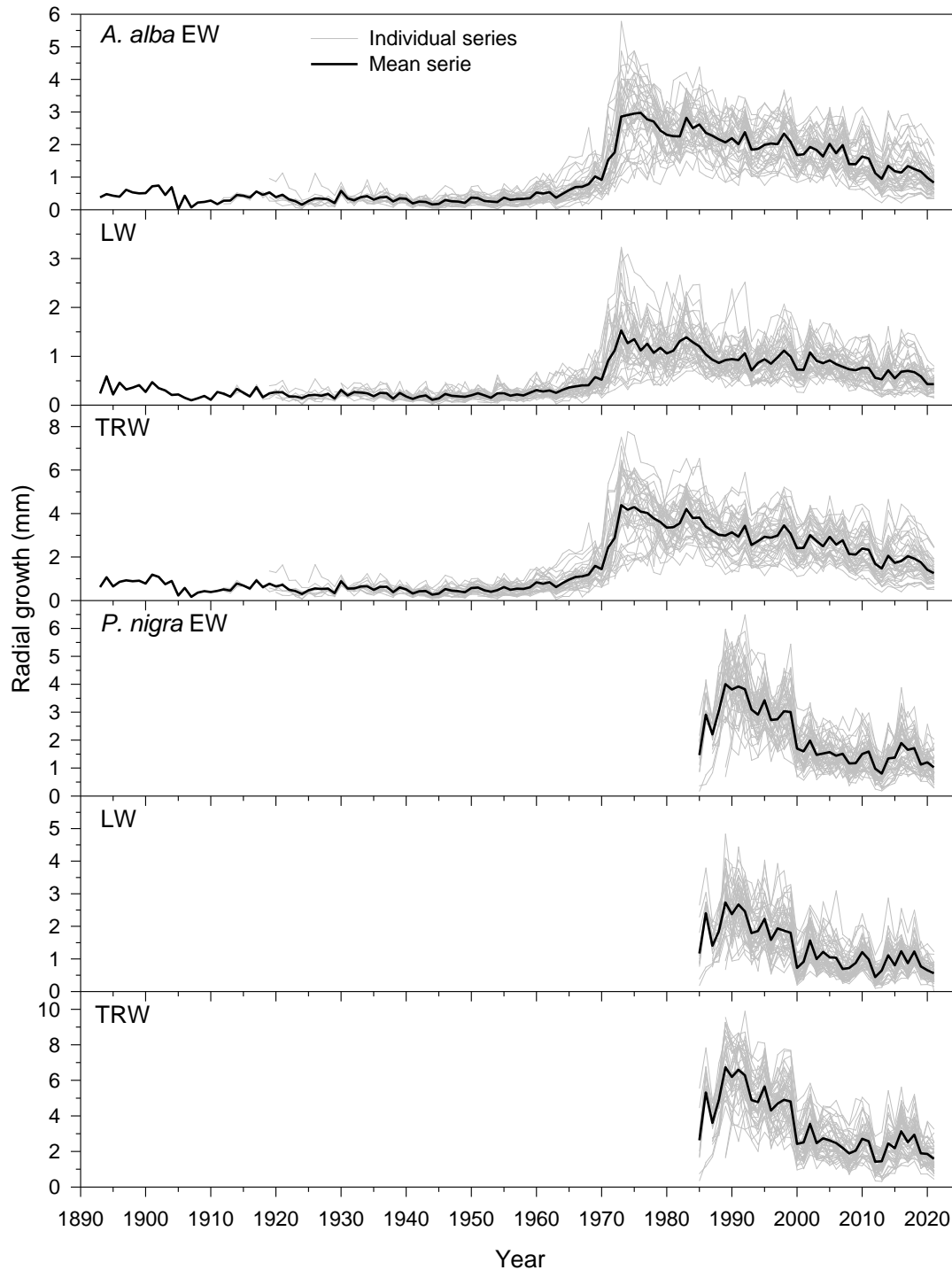


Figure 2. Raw radial growth chronologies (EW – earlywood width, LW – latewood width, TRW – tree-ring width) of *P. nigra* and *A. alba* in the study area

For the common period (1985-2021), *P. nigra* chronologies showed higher radial growth compared to *A. alba*, most probably because of the much younger and vigorous *P. nigra* trees (Figure 3).

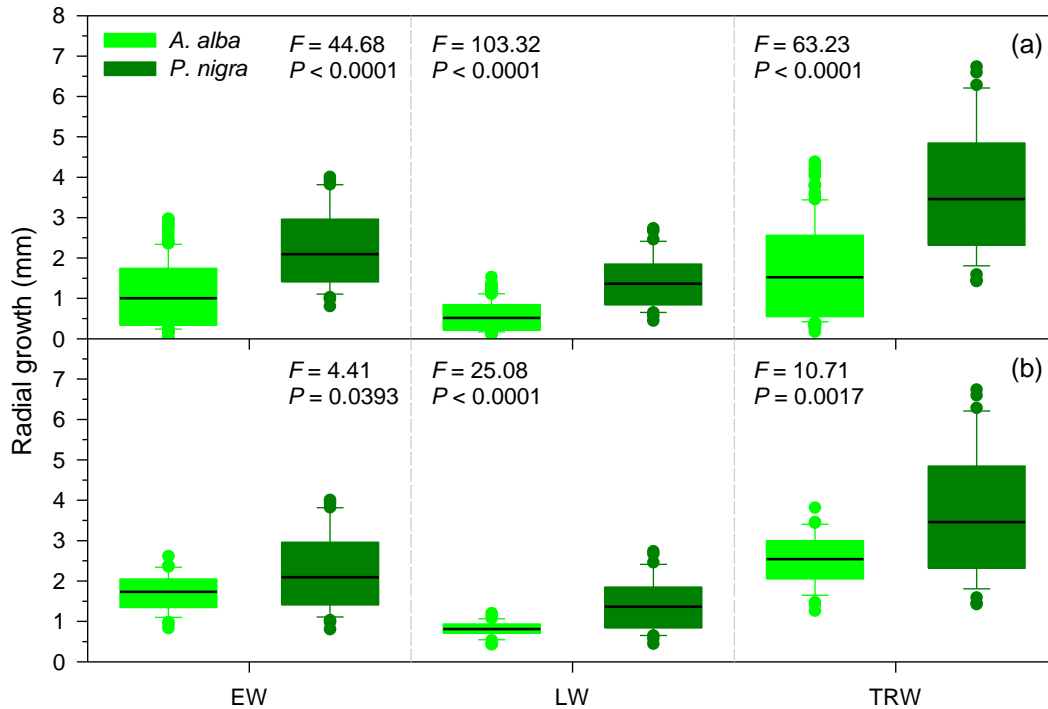


Figure 3. Comparison of radial growth chronologies (EW – earlywood width, LW – latewood width, TRW – tree-ring width) for the entire growth period (a) and for the common period 1985-2021 (b) between *A. alba* and *P. nigra*. The black horizontal line represents the mean value

Radial growth variables (EW, LW and TRW) showed positive association among them for both studied species (Table 2). A higher correlation was achieved between EW and TRW. The previous year's growth also showed positive and significant impact on the following year's growth. The correlations were higher in *A. alba* radial growth components.

Table 2. Significant correlation values ($P < 0.05$) between radial growth variables (EW, LW, TRW) in *A. alba* and *P. nigra* sites

	<i>A. alba</i>			<i>P. nigra</i>		
	EW	LW	TRW	EW	LW	TRW
LW	0.976			0.960		
TRW	0.998	0.988		0.993	0.986	
EW _{t-1}	0.966	0.932	0.961	0.851	0.727	0.808
LW _{t-1}	0.969	0.941	0.965	0.819	0.708	0.781
TRW _{t-1}	0.972	0.940	0.967	0.846	0.726	0.805

Statistically significant changes were found between species for all the growth variables considered in the study (Table 3). *A. alba* trees showed higher values in d.b.h., tree height and crown radius than *P. nigra* trees which could be related to the much older age of *A. alba* trees as compared to *P. nigra* trees.

Table 3. Mean values ± standard error of growth variables and their statistical parameters (F, P) for each species

	Nr. trees	Tree height (m)	dbh (cm)	Neighbor tree dbh (cm)	Distance to neighbor (m)	Mean crown radius (m)
<i>A. alba</i>	22	22.3 ± 0.2	38.6 ± 0.9	38.9 ± 1.3	2.06 ± 0.16	2.41 ± 0.11
<i>P. nigra</i>	24	16.8 ± 0.4	28.9 ± 0.7	21.9 ± 1.2	1.26 ± 0.12	1.80 ± 0.10
<i>F</i>		168.19	73.76	98.18	11.10	17.02
<i>P</i>		<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0012	0.0002

3.3. Climate-growth relationships

In *P. nigra*, EW growth showed positive and significant relationship with September and annual precipitation (Figure 4).

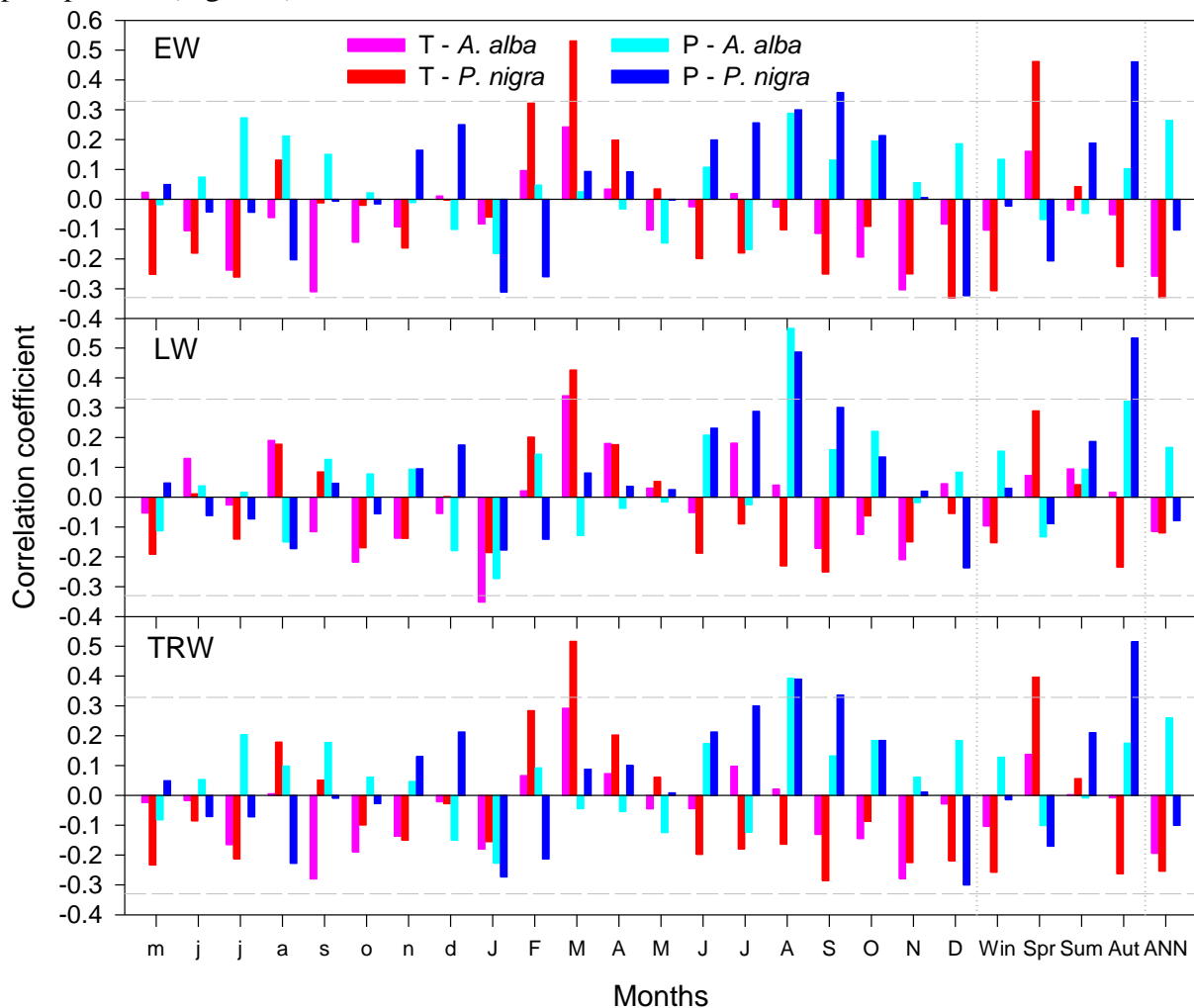


Figure 4. Pearson correlation coefficients calculated between residual chronologies of radial growth variables (EW – earlywood width, LW – latewood width, TRW – tree-ring width) and monthly seasonal and annual climate data (T – mean temperature, P – precipitation) for the period 1985-2020. Small letters represent the months of the previous year, while the capital ones represent the months of the current year. The grey dashed horizontal line represents the $P < 0.05$ significance level threshold.

Temperatures in spring, particularly in March, showed strong positive association with EW and TRW, suggesting that temperatures in this period may favor photosynthetic activity and consequently radial growth (Chen et al., 2010). LW growth was positively influenced by August and total precipitation, as well as March temperatures. TRW showed positive and significant relationship with August, September and annual precipitation. In *A. alba*, LW growth was

positively correlated with August and annual precipitation, as well as with March temperatures, while January temperatures showed negative association with LW growth. TRW was positively affected by the August precipitation. In general, *A. alba* showed lower response to climate compared to *P. nigra*, as it grows at higher altitude than *P. nigra* where precipitation is abundant and summer temperatures moderate. Moreover, stand management (low density) could have influenced the response of *A. alba* trees to climate as it allows more space and water for the remaining trees in the stand.

4. CONCLUSIONS

Vegetation indices showed similar patterns of variability between species but were clearly higher in *A. alba*. Both species presented high interannual growth variability, particularly *P. nigra* trees. The latter showed higher radial growth than *A. alba*. LW and TRW revealed dependence on EW, particularly in *P. nigra*. Response to climate differed between species where August, September precipitation and March temperatures showed greater influence on *P. nigra* growth. The response to climate in *A. alba* trees could be modified by human disturbances/management which released stand density and water supply for trees. Findings of this study can be used to identify the most appropriate strategies for management of *A. alba* and *P. nigra* stands in the future, considering the mitigation of the impacts of global warming and droughts on growth of these forest species.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge the support provided in the field by Ing. Fatmir Brazhda and Ing. Xhek Nexha.

6. REFERENCES

- Alla, A. Q., Pasho, E., and Marku, V. (2017). Growth variability and contrasting climatic responses of two *Quercus macrolepis* stands from Southern Albania. *Trees*, 31, 1491–1504. <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1564-0>
- Boisvenue, C., and Running, S. W. (2006). Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology*, 12(5), 862–882. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01134.x>
- Camarero, J. J., Gazol, A., Sangüesa-Barreda, G., Cantero, A., Sánchez-Salguero, R., Sánchez-Miranda, A., Granda, E., Serra-Maluquer, X., and Ibáñez, R. (2018). Forest growth responses to drought at short- and long-term scales in Spain: Squeezing the stress memory from tree rings. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00009>
- Carlson, T. N., and Ripley, D. A. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62(3), 241–252. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00104-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00104-1)
- Chen, P. Y., Welsh, C., and Hamann, A. (2010). Geographic variation in growth response of Douglas-fir to interannual climate variability and projected climate change. *Global Change Biology*, 16(12), 3374–3385. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02166.x>
- Cherubini, P., Gartner, B. L., Tognetti, R., Bräker, O. U., Schoch, W., and Innes, J. L. (2003). Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from mediterranean climates. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 78(1), 119–148.

- Cook, E. R., and Peters, K. (1997). Calculating unbiased tree-ring indices for the study of climatic and environmental change. *The Holocene*, 7(3), 361–370. <https://doi.org/10.1177/095968369700700314>
- Danelichen, V. H. M., Biudes, M. S., Velasque, M. C. S., Machado, N. G., Gomes, R. S. R., Vourlitis, G. L., and Nogueira, J. S. (2015). Estimating of gross primary production in an Amazon-Cerrado transitional forest using MODIS and Landsat imagery Estimating of gross primary production in an Amazon-Cerrado transitional forest using MODIS and Landsat imagery. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 87, 1545–1564. <https://doi.org/10.1590/00013765201520140457>
- Fritts, H. C. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press.
- Garbulsky, M. F., Peñuelas, J., Ogaya, R., and Filella, I. (2013). Leaf and stand-level carbon uptake of a Mediterranean forest estimated using the satellite-derived reflectance indices EVI and PRI. *International Journal of Remote Sensing*, 34(4), 1282–1296. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.718457>
- Gazol, A., Camarero, J. J., Sangüesa-Barreda, G., and Vicente-Serrano, S. M. (2018). Post-drought resilience after forest die-off: Shifts in regeneration, composition, growth and productivity. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01546>
- Giorgi, F., and Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63(2–3), 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>
- Harris, I., Osborn, T. J., Jones, P., and Lister, D. (2020). Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>
- Holmes, R. L. (1983). Computer-assisted quality control in tree ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 43, 69–78.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., and Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]*. IPCC.
- Isajev, V., Fady, B., Semerci, H., and Andonovski, V. (2004). EUFORGEN - Technical guidelines for genetic conservation and use for European black pine (*Pinus nigra*). *EUFORGEN*. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=QJ2005000047>
- Kaufmann, R. K., D'Arrigo, R. D., Paletta, L. F., Tian, H. Q., Jolly, W. M., and Myneni, R. B. (2008). Identifying climatic controls on ring width: The timing of correlations between tree rings and NDVI. *Earth Interactions*, 12(14), 1–14. <https://doi.org/10.1175/2008EI263.1>
- Kramer, K., Leinonen, I., and Loustau, D. (2000). The importance of phenology for the evaluation of impact of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forests ecosystems: An overview. *International Journal of Biometeorology*, 44(2), 67–75. <https://doi.org/10.1007/s004840000066>
- Levanič, T., and Toromani, E. (2010). Austrian pine (*Pinus nigra* Arnold.) tree-ring width chronology from northeast Albania-preliminary results. In *TRACE – Tree rings in Archaeology, Climatology and Ecology* (pp. 104–109).
- Martínez-Vilalta, J., López, B. C., Adell, N., Badiella, L., and Ninyerola, M. (2008). Twentieth century increase of Scots pine radial growth in NE Spain shows strong climate

- interactions. *Global Change Biology*, 14(12), 2868–2881. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01685.x>
- Mauri, A., de Rigo, D., and Caudullo, D. (2016). *Abies alba* in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. In J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, and A. Mauri (Eds.), *European atlas of forest tree species* (pp. 48–49). Publication Office of the European Union.
- Pasho, E., and Alla, A. Q. (2015). Climate impacts on radial growth and vegetation activity of two co-existing Mediterranean pine species. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(12), 1748–1756. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2015-0146>
- Rozas, V. (2005). Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an old-growth pollarded woodland in northern Spain: Tree-ring growth responses to climate. *Annals of Forest Science*, 62(3), 209–218. <https://doi.org/10.1051/forest:2005012>
- Shestakova, T. A., Camarero, J. J., Ferrio, J. P., Knorre, A. A., Gutiérrez, E., and Voltas, J. (2017). Increasing drought effects on five European pines modulate $\Delta^{13}\text{C}$ -growth coupling along a Mediterranean altitudinal gradient. *Functional Ecology*, 31(7), 1359–1370. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12857>
- Tucker, C. J., Vanpraet, C. L., Sharman, M. J., and Van Ittersum, G. (1985). Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the senegalese sahel: 1980–1984. *Remote Sensing of Environment*, 17(3), 233–249. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(85\)90097-5](https://doi.org/10.1016/0034-4257(85)90097-5)
- Wang, J., Rich, P. M., Price, K. P., and Kettle, W. D. (2004). Relations between NDVI and tree productivity in the central Great Plains. *International Journal of Remote Sensing*, 25(16), 3127–3138. <https://doi.org/10.1080/0143116032000160499>
- Wigley, T. M. L., Briffa, K. R., and Jones, P. D. (1984). On the average value of correlated time-series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23(2), 201–213.
- Xiao, X., Zhang, Q., Braswell, B., Urbanski, S., Boles, S., Wofsy, S., Moore, B., and Ojima, D. (2004). Modeling gross primary production of temperate deciduous broadleaf forest using satellite images and climate data. *Remote Sensing of Environment*, 91(2), 256–270. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.03.010>
- Zeneli, G., Dida, M., Ducci, F., and Habili, D. (2004). Silver fir (*Abies alba*) resources in Albania and their conservation. *Forest Genetic Resources*, 44–49.

DİYARBAKIR-HAZRO KOŞULLARINDA BAZI İLERİ KADEME EKMEKLİK BUĞDAY (*Triticum aestivum* L.) HATLARININ GGE BİPLOT ANALİZİ İLE SELEKSİYONU

SELECTION OF SOME ADVANCED STAGE BREAD WHEAT (*Triticum aestivum* L.)
LINES WITH GGE BIPLLOT ANALYSIS IN DIYARBAKIR-HAZRO CONDITIONS

Doç. Dr. Mehmet KARAMAN

Muş Alparslan Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi,
m.karaman@alparslan.edu.tr-ORCID ID: 0000-0002-6176-9580

ÖZET

Buğday, dünya genelinde beslenmede temel besin maddesi olmasının yanı sıra yüksek adaptasyon kabiliyeti ve farklı ürünlere işlenebilme potansiyeli nedeniyle stratejik üründür. Dünya buğday üretiminde ekmeklik buğday oransal olarak %95 civarında bir payı temsil etmektedir. Araştırma, 2011-2012 yetiştirme sezonunda Diyarbakır-Hazro şartlarında tesadüf blokları deneme desenine göre yağışa dayalı koşullarda 4 tekrarlamalı olarak yürütüldü. Deneme materyalini 20 ileri kademe ekmeklik buğday hattı ve 5 kontrol (Nurkent, Pehlivan, Cemre, Sagittario ve Ceyhan-99) çeşit oluşturdu. Tane verimi hariç, incelenen tüm özelliklerin $p<0.01$ seviyesinde anlamlı olduğu belirlendi. Genotip-özellik ilişkisini poligon, sektör ve vektörlerle açıklayan GGE biplot grafiklerine göre, incelenen özellikler için genotipler arasındaki varyasyonun %35.82'sini PC1, %27.14'ünü PC2 ve %62.96'sını PC1+PC2 açıkladı. Tane verimi ile başaklanma süresi farklı grup ve sektörlerde yer alırken, bitki boyu ve bin tane ağırlığının aynı grup ve sektörde konumlandığı belirlendi. G1 (285.7 kg.da⁻¹), G4 (297.5 kg.da⁻¹) ve G12 (279.4 kg.da⁻¹) tane veriminde, G9 (37.3 g) ve Pehlivan (37.8 g) bin tane ağırlığında en iyi genotiplerdi. Poligon grafiği, hiçbir özelliğin bulunmadığı sektörlerde yer alan genotiplerin herhangi bir özellik yönünden öne çıkmadığını gösterdi. Çalışmada, Hazro lokasyonunun gerek iklim yapısı gerekse rakım olarak Diyarbakır Merkezden farklı olduğu belirlenirken, lokasyon odaklı çeşit geliştirmeye dayalı ıslah programının önemli olduğu tespit edildi. Bu bağlamda, aynı lokasyonda çalışmaların devam etmesinin faydalı olacağı, GGE biplot analizinin genotip-özellik ve özellikler arası ilişkiyi belirlemede ayırt edici ve seleksiyonda kullanımının kolay olduğu sonucuna varıldı.

Anahtar Kelimeler: Buğday, bitki boyu, başaklanma, GGE biplot

ABSTRACT

In addition to being a basic nutrient in nutrition around the world, wheat is a strategic product due to its high adaptability and potential to be processed into different products. Bread wheat represents a proportional share of around 95% in world wheat production. The research was carried out in Diyarbakır-Hazro conditions in the 2011-2012 growing season according to the randomized block design with 4 replications under rainfall conditions. The experimental material consisted of 20 advanced bread wheat lines and 5 control varieties (Nurkent, Pehlivan, Cemre, Sagittario and Ceyhan-99). Except for grain yield, all examined traits were determined to be significant at $p<0.01$ level. According to GGE biplot graphs explaining the genotype-trait relationship with polygons, sectors and vectors, PC1 explained 35.82%, PC2 27.14% and

PC1+PC2 62.96% of the variation between genotypes for the examined traits. While grain yield and heading time were in different groups and sectors, plant height and thousand grain weight were determined to be in the same group and sector. G1 (285.7 kg.da⁻¹), G4 (297.5 kg.da⁻¹) and G12 (279.4 kg.da⁻¹) were the best genotypes in grain yield, G9 (37.3 g) and Pehlivan (37.8 g) were the best genotypes in thousand grain weight. The polygon plot showed that genotypes in sectors where no traits were present did not stand out in terms of any trait. In the study, it was determined that the Hazro location is different from Diyarbakır Center in terms of both climate structure and altitude, and the breeding program based on location-focused variety development is important. In this context, it was concluded that it would be beneficial to continue studies at the same location, and that GGE biplot analysis was distinctive in determining the genotype-trait and trait-to-trait relationship and was easy to use in selection.

Key Words: Wheat, plant height, heading time, GGE biplot

GİRİŞ

Buğday, dünya genelinde ana besin maddesi olarak kabul edilen, ham veya farklı ürünlere işlenerek kullanılan ve önemli düşük yağlı gıdalardan olduğu tespit edilen serin iklim tahıdır. Tahıllar karbonhidratların, proteinlerin, diyet lifinin, minerallerin, yağda ve suda çözünen vitaminlerin önemli kaynağı olarak bilinmektedir (Seal ve ark., 2021; Özsoy ve Erbaş Köse, 2022). Buğday, insan gıdası olarak tüketilmesinin yanı sıra bitki sapları ve tanesinden elde edilen kepek ile hayvan beslenmesinde kullanımı ile de önem arz etmektedir (Atar, 2017; Bozkurt ve ark., 2022).

Buğday yetiştiriciliğinde birim alandan elde edilen tane verimi kalıtımın yanı sıra ekolojik faktörlerin ve yetiştirme tekniklerinin etkisi altında şekillenmektedir. Nitekim, yüksek verim potansiyeline sahip çeşitler birim alan tane verimine %50 katkı sağlarken, geriye kalan oranın yetiştirme tekniklerindeki gelişmelere dayalı olduğu bildirilmiştir (Balla ve ark. 1987; Yağmur ve ark., 2021).

İslah çalışmaları ile geliştirilen günümüz modern buğday çeşitlerinin yerel buğday çeşitlerine göre daha kısa bitki boyuna sahip oldukları farklı araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır (Austin ve ark., 1980; Avçin ve ark., 1997; Baram ve ark., 2017; Koç ve ark., 2020). Modern buğdaylar yerel buğdaylar ile kıyaslandığında ortalama bitki boyunun %5.8 daha kısa olduğu belirlenmiştir (Altındal ve Akgün, 2018; Koç ve ark., 2020).

Araştırmada amaç, Hazro lokasyonunda özellikler bazında öne çıkan genotipleri GGE biplot tekniği ile belirlemektir. Ayrıca, genotip-özellik ve özellikler arası ilişkileri GGE biplot tekniği ile yorumlamaktır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma, Diyarbakır ilinin Hazro ilçesinde 2011-2012 yetiştirme sezonunda yağışa dayalı koşullarda yürütüldü. Hazro, 1130 m yüksekliğinde Uzuncaeski dağı eteklerinde kurulu bir ilçe konumundadır. Çalışma 25 adet genotip ile tesadüf blokları deneme deseninde 3 tekerrürlü olarak tasarlandı. Bu genotiplerden 5'i araştırmada kontrol olarak kullanılan tescilli çeşitlerdi (Nurkent, Pehlivan, Cemre, Sagittario ve Ceyhan-99). Ekim işlemi, 450 tane.m⁻² normunda 01 Kasım 2011 tarihinde gerçekleştirildi. Deneme alanı topraklarının killi-tınlı, hafif alkali (pH=7.8), organik madde (%1.12) içeriği orta ve kireç oranı (CaCO₃)= %10.5 kg.da⁻¹ olarak tespit

edildi. Bu bağlamda, bitki besin elementi eksikliğini tamamlamak amacıyla toplamda 12 kg.da⁻¹ N ve 6 kg.da⁻¹ P₂O₅ toprağa uygulanarak gübreleme yapıldı.

Azotun yarısı ve fosforun tamamı ekimle beraber, kalan azot miktarı ise kardeşlenme döneminin ortalarında üst gübre tatbiki ile tamamlandı. Birim alandaki dar ve geniş yapraklı yabancı otlar mücadeleyi gerektirecek yoğunlukta olmadığından dolayı deneme alanında herhangi bir herbisit kullanılmadı. Hasat ve harmanlama işlemi parsel biçerdöveri ile 17 Haziran 2012 tarihinde tamamlandı.

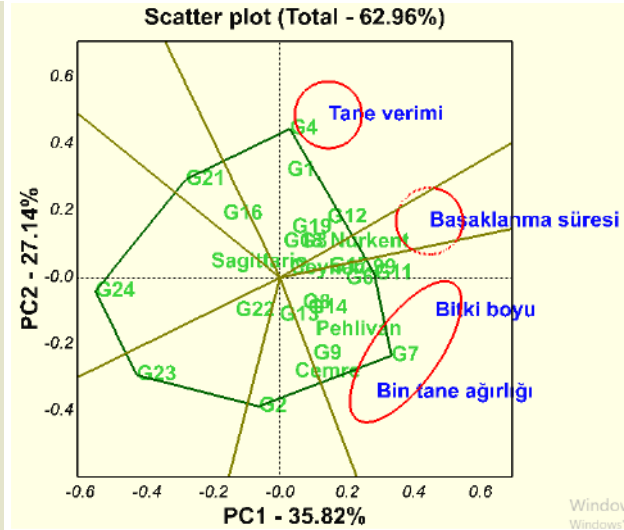
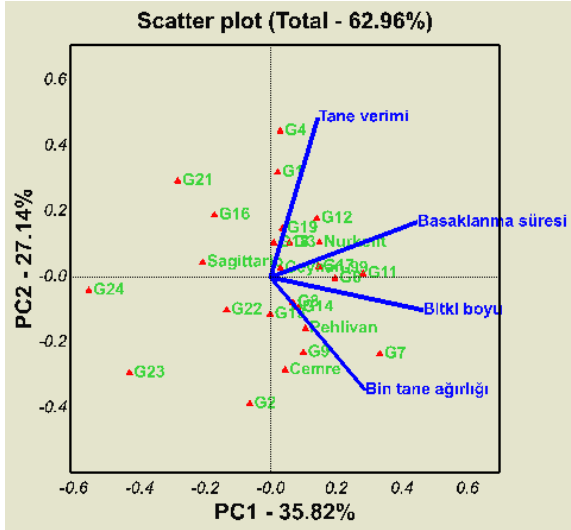
BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırılan özelliklerden tane verimi hariç diğer özelliklerde genotipler arasında p<0.01 seviyesinde önemli farklılıklar olduğu tespit edildi (Çizelge 1).

Çizelge 1. Araştırılan özelliklere ilişkin değerler ve oluşan gruplar

Genotip	Tane Verimi (kg.da ⁻¹)	Başaklanma Süresi (gün)	Bitki Boyu (cm)	Bin tane Ağırlığı (g)
G1	285.7	190.0	de	74.8
G2	217.2	185.0	ı	75.0
G3	265.8	188.0	fg	80.0
G4	297.5	190.0	de	75.0
Nurkent	274.1	192.0	abc	80.0
G6	263.4	185.0	ı	89.8
G7	247.8	190.0	de	95.3
G8	247.9	191.0	cd	80.0
G9	255.8	183.0	j	75.0
Pehlivan	261.4	191.5	bcd	70.0
G11	276.2	192.0	abc	85.0
G12	279.4	192.0	abc	80.0
G13	244.1	183.0	j	80.0
G14	257.6	183.0	j	80.0
Cemre	231.3	193.5	a	75.3
G16	259.9	185.8	hı	70.0
G17	277.1	190.3	de	75.0
G18	263.8	191.0	cd	75.0
G19	269.2	192.8	ab	75.0
Sagittario	253.4	190.0	de	60.0
G21	269.1	186.0	hı	60.0
G22	227.9	189.3	ef	75.0
G23	255.3	186.8	gh	65.0
G24	250.9	188.0	fg	70.0
Ceyhan-99	260.8	190.0	de	75.0
G. Ortalama	259.7	188.8		75.8
Maksimum Değer	297.5	193.5		95.3
Minimum Değer	217.2	183.0		60.0
LSD (0.05)	Ö.D	1.57**		3.35**
CV (%)	17.85	0.59		3.13
				2.42

G. Ortalama: genel ortalama



Görsel 1. Vektörler ile genotip-özellik ilişkisi

Görsel 2. Poligon ve sektör odaklı GGE biplot grafiği

Özellikler arasındaki ilişkiyi ve özellik bazında genotiplerin durumunu vektörler ve poligon ile temsil eden GGE biplot grafiklerinde (Görsel 1 ve 2) PC1 %35.82, PC2 %27.14 ve PC1+PC2 %62.96 oranında genotipler arasındaki varyasyonu açıkladı. Tane verimi ile başaklanma süresi, bitki boyu ile başaklanma süresi ve bin tane ağırlığı arasında pozitif ilişki (Yan ve Tinker, 2006; Karaman, 2020) olduğu belirlendi (Görsel 1).

Tane veriminin diğer özelliklere göre orijin merkezinden en uzak mesafede konumlanması tane verimi bakımından genotipler arasındaki varyasyonun yüksek olduğunu gösterdi. Tane veriminde; G1, G4 ve G12, bin tane ağırlığında G9 ve Pehlivan en iyi genotiplerdi (Görsel 1). G24'ün özellikleri temsil eden vektörlerin ters istikametinde bulunması ve orijin merkezinden en uzakta yer alan genotip olması nedeniyle hiçbir özellik yönünden iyi olmadığı söylenebilir.

Tane verimi ile başaklanma süresi farklı grup ve sektörlerde yer alırken, bitki boyu ve bin tane ağırlığının aynı grup ve sektörde konumlandığı belirlendi. Bu sonuç, bitki boyu ve bin tane ağırlığı arasında kuvvetli pozitif ilişki olduğunu gösterdi (Görsel 2). Özelliklerin yer almadığı sektörlerde poligonun köşegeninde yer alan genotiplerin ise hiçbir özellik yönünden öne çıkmadığı tespit edildi (Görsel 2). Nitekim, Poligonun köşegeninde yer alan genotipler köşegene yakın yerde konumlanan özellik veya özellikler yönünden en iyi genotipler olduğu bildirilmiştir (Yan ve ark., 2000; Aktaş ve ark., 2017). GGE biplot grafiği özellikler bazında deneme ortalamasına yakın değerler veren genotiplerin orijin merkezine yakın yerde konumlandığını gösterdi.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmada, tane verimi bakımından G1, G4, G11, G12 ve G17 numaralı hatların Hazro koşullarında ön sırada yer aldığı ve yüksek adaptasyon kabiliyetinde olduğu tespit edilmiştir. Bu genotiplere ait başaklanma sürelerinin deneme ortalamasının üzerinde olması sebebiyle bu hatlar Hazro lokasyonu için orta erkenci genotipler olarak değerlendirilebilir. Bin tane ağırlığında, G9 ve Pehlivan genotipleri aynı grupta yer alarak en yüksek bin tane ağırlığına sahipken, G11 ve G17'nin yüksek tane verimi ile beraber iri taneli hatlar olduğu gözlemlendi. Ayrıca, G11'in diğer çeşitlere kıyasla orta bitki boyuna sahip olması saman verimi açısından da önemliydi. GGE biplot analizinin genotip-özellik ilişkisini ve özellikler arası ilişkiyi

belirlemede ayırt edici, seleksiyonda etkili bir teknik olduğu gözlemlendi. Hazro lokasyonu odaklı çeşit geliştirmeye yönelik sağlam kanaatin oluşması için çalışmanın aynı genotipler ile birkaç yıl daha tekrarlanması uygun olacağı sonucuna varıldı.

KAYNAKÇA

Aktaş, H., Karaman, M., Erdemci, İ., Kendal, E., Tekdal, S., Kılıç, H., Oral E. Sentetik ve Modern Ekmeklik Buğday Genotiplerinin (*Triticum aestivum* L.) Verim ve Kalite Özelliklerinin Karşılaştırılması. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 3,1, 25-32, 2017.

Altındal, D., Akgün İ. Isparta ve Burdur Lokasyonlarından Toplanan Ekmeklik Buğday Genotiplerinin Verim Ve Verim Özelliklerinin Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi, Özel Sayısı: 357-367, 2018.

Atar, B. Gıdamız buğdayın, geçmişten geleceğe yolculuğu. Yalvaç Akademi Dergisi, 2, 1, 2017.

Austin, R.B.J., Bingham, J., Blackwell, R.D., Evans L.T. Genetic Improvements In Winter Wheat Yields Since 1900 and Associated Physiological Changes. The Journal of Agricultural Science, 94,03, 1980.

Avçin, A., Avcı, M., Dönmez Ö. Orta anadolu şartlarında ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşitlerinin verimlerindeki genetik gelişmeler. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 6, 1997.

Balla, L., Szunics, L. ve Bedo, Z. Hızlandırılmış Buğday Islah Yöntemleri. Türkiye Tahıl Sempozyumu, 415-428, Bursa, 1987.

Bayram, S., Öztürk, A., Aydın M. Türkiye Ekmeklik Buğday Genotiplerinde Tescil Yılı İle Bitki Boyu, Çim Kını Uzunluğu Ve Tane Verimi Arasındaki İlişkiler. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 26, 2017.

Bozkurt, M., Olgun, M., Bolat N. Eskişehir Sulu Koşullarında Bazı Ekmeklik Buğday Hat Ve Çeşitlerinin Verim Ve Kalite Özelliklerinin İncelenmesi. Research Journal of Biology Sciences, 15, 2, 2022.

Karaman, M. Yazlık Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Genotiplerinin Tarımsal Özellikler Bakımından Değerlendirilmesi. ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi, 4,1, 2020.

Koç, A., Akın, B., Olgun M. Modern ve Yerel Buğdayların Bazı Önemli Özelliklerindeki Uzunluk Varyasyonlarının Biyolojik Verim Ve Hasat İndeksi Üzerine Etkileri. Research Journal of Biology Sciences, 14, 2, 2020.

Özsoy, B., Erbaş Köse Ö.D. Konya'da Yağışa Dayalı Ve Sulamalı Koşullarda Farklı Sıra Arası Mesafelerin Buğday Çeşitlerine Etkisi: I. Tane Verimi Ve Verim Unsurları. ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi, 6, 4, 2022.

Seal, C.J., Courtin, C.M., Venema, K., de Vries J. Health Benefits of Whole Grain: Effects on Dietary Carbohydrate Quality, The Gut Microbiome, and Consequences of Processing. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 20, 3, 2021.

Yağmur, M., Sözen, Ö., Pala D. Yarı Kurak Şartlarda Farklı Tohum Miktarlarının İki Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Çeşidinde Tane Verimi ve Bazı Verim Öğeleri Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences, 11, 1, 2021.

Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., Szlavnicz Z. Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science, 40, 2000.

Yan, W., Tinker N.A. Biplot Analysis Of Multienvironment Trial Data: Principles and Applications. Canadian Journal of Plant Science, 86, 2006.

USE OF RHIZOBACTERIA TO PROMOTE PLANT GROWTH IN ABIOTIC STRESSES IN SUSTAINABLE AGRICULTURE

Research Assist. Merve KARAKOYUN

University of Bilecik, Faculty of Agriculture and Natural Science, Department of Horticulture, Bilecik, Türkiye,

merve.karakoyun@bilecik.edu.tr , 0000-0001-7438-4738

Assoc. Prof. Dr. Şeyma ARIKAN

Horticulture Department, Faculty of Agriculture, University of Selçuk, Konya, Turkey,

arikan@selcuk.edu.tr , 0000-0002-4328-0263

ABSTRACT

Plant stress is characterized as a condition that adversely impacts growth and development, perhaps causing injury or resulting in mortality. Abiotic stress and climate change have multiple consequences and significantly threaten the sustainability and productivity of agricultural systems. In modern agriculture, advantageous microorganisms (bacteria, mycorrhizae, insects, etc.) are integral to sustainable practices in response to numerous abiotic challenges, including salinity, drought, cold, and heat, which significantly impact crop productivity. Bacteria benefit advantages from their capabilities in N₂-fixation, phosphate solubilization, and the synthesis of siderophores, indole acetic acid (IAA), cytokinins, and ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylate) deaminase.

Rhizobacteria are advantageous bacteria residing in plant root exudates, significantly contributing to plant growth and resilience against abiotic stress factors. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) are utilized for the enhancement, multiplication, and biological regulation of growth and development in horticultural plants. These plant growth-promoting rhizobacteria are significant for their capacity to mitigate the adverse impacts of numerous abiotic stress factors including drought, salinity, and heavy metal contamination, on plant growth and development. The application of PGPR in sustainable agriculture is a promising strategy to mitigate the challenges associated with abiotic stress factors. The diverse mechanisms through which PGPR alleviate the detrimental impacts of abiotic stress factors, such as the synthesis of phytohormones, osmoprotectants, and the modulation of the antioxidant defense system, render them an invaluable asset for enhancing crop performance and safeguarding food security amid environmental challenges.

Keywords: stress tolerance, PGPRs, plant growth promotion, ACC deaminase

1. INTRODUCTION

Abiotic stress factors such as drought, salt, extreme temperatures, and heavy metal toxicity pose significant challenges to global plant growth and productivity (Khan et al. 2021; Ahmad et al. 2023; Ahmad 2023). These stress factors can significantly disrupt numerous physiological and biochemical processes in plants, resulting in reduced agricultural yields and quality (Reis et al. 2012; Imran et al. 2021; Yashaswini 2024). To address these challenges, it is imperative to implement sustainable agriculture techniques that enhance plant resilience to abiotic stresses. One promising strategy is the application of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in sustainable agriculture (Gull et al. 2019; Aloo et al. 2023;). Rhizobacteria are advantageous soil microbes that inhabit the rhizosphere, also called the root zone, and can provide numerous beneficial effects to host plants (Khan et al. 2021; Rao et al. 2022). These include increased nutrient uptake, synthesis of plant growth-regulating compounds, and increased resistance to abiotic stress factors (Wu et al. 2016; Lata et al. 2018; Umar et al. 2022). Rhizobacteria can reduce the negative effects of abiotic stress factors in several ways. They can synthesize phytohormones such as auxin, cytokinin, and gibberellin, which can promote plant growth and development even in stressful environments (Rahman 2013; Ma 2024). Rhizobacteria can increase the synthesis of favorable solutes, including proline and glycine betaine, which help maintain osmotic balance and protect cellular structures (Park and Park 2019; Jha et al. 2020; Yashaswini 2024). Moreover, rhizobacteria can induce the production of stress-responsive genes and transcription factors, which may result in the activation of various defense pathways (Rao et al. 2022; Prisa 2023; Yu 2024). In addition, rhizobacteria increase nutrient availability and absorption by the plant, which is essential for maintaining growth and productivity under abiotic stress (Reis et al. 2012; Kim et al. 2021; Turhan 2024). They can solubilize and mobilize vital nutrients, including phosphorus and iron, thereby increasing their availability to the plant (Feng et al. 2013; Imran et al. 2021; Tao et al. 2022). This can alleviate nutrient deficiencies and enhance plant performance in stressful environments. Rhizobacteria can enhance the antioxidant capacity of plants, which is crucial for alleviating the harmful effects of oxidative stress induced by abiotic stress factors (Rejeb et al. 2014; Rubin et al. 2015). They can increase the synthesis of antioxidant enzymes and non-enzymatic antioxidants, including ascorbic acid and glutathione, which neutralize reactive oxygen species and protect cellular components (Gong et al. 2019; Hurmat et al. 2020; Das and Biswas 2022). In addition, rhizobacteria can affect the expression of genes associated with stress signaling pathways, including those related to abscisic acid (ABA), jasmonic acid (JA), and salicylic acid (SA) (Rane et al. 2021; Liu et al. 2022; Khator 2024). These phytohormones are important in the plant response to abiotic challenges and modulation of their signaling by rhizobacteria can increase the overall stress tolerance of the plant (Ma 2024).

1.1. Abiotic Stress Factors in Horticultural Practices

Horticultural crops produce a variety of substances that are essential for humans, including fruits and vegetables worldwide. In order to achieve optimum yields, it is essential to consider the effects of environmental conditions, as they can directly and indirectly affect plant development and growth (Schaffer and Andersen 1994). The primary factors limiting the

production of horticultural crops are environmental stresses. Abiotic stress factors pose significant risks to the growth, development and production of horticultural crops globally. Agriculture accounts for more than 70% of global water use, and this consumption is under increasing pressure from abiotic stress factors that have emerged in recent years (Steduto et al. 2012). Moreover, heavy rainfall in agricultural areas can lead to flooding, negatively affecting crop yields and crop quality. In addition to the damage caused by high temperatures, low temperatures pose a challenge to a large number of species, including spring-flowering fruit trees such as almonds and peaches. Furthermore, important sources of yield and flowers are negatively affected by cold stress (Francini and Sebastiani 2019). Temperature, light quality and intensity are key factors in respiration and photosynthesis. The amount and quality of light also affect crop mass and output value. Nutrition affects both nutrient excess and deficiency, affecting growth, production and quality depending on the species. The presence of heavy metal pollutants can serve as a limiting factor in certain horticultural and agricultural areas (Francini and Sebastiani 2019).

Drought stress, affects plant growth and development both directly and indirectly due to uncontrollable abiotic stress factors (Hu et al. 2020). Global climate change has led to increasing temperatures and atmospheric CO₂ levels, resulting in erratic rainfall patterns in various regions in recent years (Mishra and Singh 2010; Arbona et al. 2013; Dai 2013; Nezhadahmadi et al. 2013; Salehi-Lisar and Bakhshayeshan-Agdam 2016). Drought directly affects plant physiology, biochemistry, and morphology (Hanaka et al. 2021). Moreover, it inhibits seedling growth and germination development (Khan et al. 2019). Drought affects all aspects of the plant, resulting in reduced crop yield. Drought mainly affected plant cell growth, cell elongation, and division (Abdelaal et al. 2021). Thickening of cell walls, development of vascular tissues, and formation of cuticular layers on leaf surfaces represent the most common morphological responses to drought and cause anatomical changes in plants. Thickening of cell walls, development of vascular tissues, and cuticular layers on leaf surfaces are the most common morphological responses to drought and cause anatomical changes in plants (Abdelaal et al. 2018; Hanaka et al. 2021). From a physiological perspective, drought affects leaf water potential and content, stomatal conductance, evaporation, and photosynthetic properties (Liu et al. 2005; Ullah et al. 2017). In addition, dryness disrupts the passage of nutrients in the soil, their absorption by the roots, and their distribution among plant tissues (Ragel et al. 2019).

Salinity, an abiotic stress factor, impedes and constrains crop development and growth (Isayenkov and Maathuis 2019). Globally, almost 20% of irrigated agriculture experiences salt stress, resulting in average production reductions exceeding 50% in certain regions (Riyazuddin et al. 2020). Salinity, like other abiotic stress factors, adversely impacts seed germination, growth, and physiology. Soil salinity results from improper irrigation and fertilization (Niu et al. 2019). Osmotic stress is the initial reaction of plants to salt, succeeded by toxicity and specific ion stress, both resulting from the buildup of Na and Cl ions. Elevated concentrations of Na and Cl in plants over detrimental threshold levels induce specific toxicities and alterations in water relations (Munns and Tester 2008; Bernstein 2019). Additional consequences of salinity encompass disrupted metabolism and oxidative injury (Bernstein et al. 2013; Bernstein 2019). Salinity diminishes turgor pressure, osmotic potential, and leaf water potential. As the

concentration of detrimental ions escalates in plant cells, the levels of K^+ and Ca^{2+} diminish, leading to the generation of reactive oxygen species (Cambridge et al. 2017; Ali et al. 2020).

Lime-induced chlorosis, the calcium and salt concentration of the soil, significantly impacts agricultural productivity. Calcareous soils constitute around 30% of global soil types. A prevalent and detrimental mineral disorder known as lime-induced chlorosis has been previously recorded (Webster et al. 2005; Arıkan et al. 2020). In calcareous soils specifically, iron deficiency constitutes an abiotic stress factor that impedes plant development and growth (Alvarez-Fernández et al. 2006). Iron chlorosis in plants cultivated in calcareous soils primarily results from elevated bicarbonate concentrations or calcium carbonate levels (Lucena 2000). Reactive oxygen species (ROS) are generated in plants due to mineral shortages, which contribute to oxidative stress (Donnini et al. 2011; Gill and Tuteja 2010). Moreover, reactive oxygen species in cells can substantially harm genetic material, modify cell membranes, and deactivate enzymes (Moldovan and Moldovan 2004; Valipour et al. 2020). Iron chlorosis occurs when certain unfavorable soil characteristics, particularly lime, are present or lacking. Fruit trees possess a restricted capacity to recycle Fe, necessitating supplementary Fe for optimal growth, despite the continual Fe requirements of most plants (Rombolà and Tagliavini 2006). Iron is an inorganic metal prevalent in soils, and its solubility is influenced by the soil's pH. Under calcareous conditions, the availability of iron is restricted (Tagliavini and Rombola 2001).

Heavy metal stress, the extensive application of heavy metals in agriculture constitutes a significant ecological issue (Clemens and Ma 2016; Rehman et al. 2021). Metals are vital for plants, although their excess can be detrimental. Toxic metals, including cadmium and lead, severely impair soil quality and microbial diversity, along with their prolonged persistence above threshold levels (Wani et al. 2008a; 2008b; Ahemad and Khan 2012). The growth stage, exposure level, plant species, and additional factors influence the manifestation of the detrimental effects of heavy metals. Nickel inhibits the germination and growth of certain crop seeds by regulating the activity of amylase, protease, and ribonuclease (Ahmad and Ashraf 2012). Lead influences magnesium and iron absorption, impacts seed germination, plant growth, transpiration, and Calvin cycle enzymes, and induces stomatal closure. Consequently, a deficit of CO_2 arises. Lead inhibits plant growth, transpiration, Calvin cycle enzymes, magnesium and iron uptake, and induces stomatal closure, leading to carbon dioxide deficit (Pourrut et al. 2011). Heavy metals, owing to their toxicity, induce the generation of reactive oxygen species (ROS), which impair plant cells and metabolic processes via oxidation. This route induces oxidative stress, hence impairing critical metabolic activities.

Low and high temperature stress, the biggest problem facing agriculture today is the increase in global temperatures. Global climate models estimate an increase in average ambient temperature of 1-6 °C by the conclusion of the twenty-first century (Foley et al. 2011). High temperatures also result in reduced population development and shorter root length (Toh et al. 2008; Kumar et al. 2011). Increased fixation is necessary for plants to improve respiration. Rubisco activity is significantly diminished at elevated temperatures (>35 °C), thereby impairing photosynthesis. Heat stress modifies cell membrane functionality mostly due to alterations in membrane fluidity. Photosystem II in chloroplasts is the most thermally sensitive component of photosynthesis, and heat stress diminishes its efficacy (Barnabás et al. 2008).

Reports indicate that this stress predominantly contributes to the detrimental effects of protein denaturation, enzyme inactivation, heightened fluidity of membrane lipids, diminished protein synthesis and degradation, and compromised membrane integrity.

In severe instances, ice crystals may penetrate plant cells and induce cytosol outflow, ultimately leading to plant mortality (Zhang et al. 2011; Demidchik et al. 2014; Sun et al. 2019). The exact process via which plants withstand heat stress remains unidentified. Plants improve membrane cryostability to avert freeze damage, potentially linked to alterations in the membrane and adjacent cellular components of the plasma membrane. To enhance the cryostability of the plasma membrane, hydrophilic molecules such as sugars, enzymes, and dehydrins modify the lipids and membrane proteins (Lee et al. 2014; Strimbeck et al. 2015; İpek et al. 2019).

Flooding stress, water is vital for plant survival; nevertheless, excessive water, floods, or overflow induces stress in them. Flooding, an abiotic stress factor significantly affects around 16% of global agricultural land (Ahsan et al. 2007). Oxygen is a fundamental requirement for plant survival. Nevertheless, substantial waterlogging diminishes the soil's capacity to hold oxygen. In stressful conditions, heightened anaerobic respiration impedes plant growth (Hattori et al. 2011; Nishiuchi et al. 2012). In response to this stress, plants have evolved two primary adaptive strategies: low oxygen stagnation syndrome (LOQS) for partial inundation and low oxygen escape syndrome (LOES) for complete inundation (Colmer and Voeselek, 2009; Voeselek and Bailey-Serres 2015; Zhang et al. 2015). Plants employing the LOQS strategy demonstrate limited growth by utilizing minimal energy to enhance their survival prospects (Loreti et al. 2016). The upper leaves of plants employing the LOES approach are conserved as a precautionary measure. Furthermore, these plants may recuperate once the flood stress diminishes.

2.PLANT GROWTH PROMOTING RHIZOBACTERIA

Given the persistent rise in food demand driven by population growth, it is essential to adopt innovative and sustainable practices in agricultural operations. The application of chemical fertilizers enhances agricultural productivity, however concurrently deteriorates soil quality. The restricted soil area next to the root systems of growing plants is referred to as the plant rhizosphere, symbolizing microbial activity in the soil (de la Fuente Cantó et al. 2020). The predominant microbial taxa in the rhizosphere are bacteria and fungus. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR), a term introduced by Kloepper and Schroth in 1978, are free-living soil bacteria that inhabit the rhizosphere, colonize plant roots, and enhance plant growth (Dutta and Podile 2010). PGPR can be categorized into free-living rhizobacteria, residing externally to plant cells, and symbiotic bacteria, which inhabit plant interiors and engage in direct metabolite exchange with them (Gray and Smith 2005). Their modes of action are both direct and indirect, yielding several impacts and advantages.

Hormone synthesis, phytohormones regulate all cellular activities in plants and are essential in modulating the signal transduction pathway during responses to abiotic stresses (Pieterse et al. 2009). PGPR mitigate biotic and abiotic stresses in plants. Rhizobacteria that enhance plant growth occur endophytically or symbiotically within plant tissues. Furthermore, they interact with the root surface and communicate by producing a diverse array of metabolically active compounds (Egamberdieva et al. 2011; Berg et al. 2013).

Plant growth-promoting bacteria either directly assist plant development or enhance nutrient absorption from the environment (Khan et al. 2017). The growth of the root system may be influenced by a change in ethylene levels induced by PGPR. The compatibility of plant cytokines with PGPR has demonstrated susceptibility. Numerous PGPR strains possess the ability to synthesize cytokinins. Gibberellins, essential for the development, growth, and maturation of fruits and seeds, can be manufactured by the plant with the assistance of PGPR. The ABA content increases when certain abscisic acid-rich strains are grafted, enhancing the plant's resilience to stress.

ACC-deaminase production, one crucial enzyme that controls the formation of ethylene by metabolizing ACC is 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) deaminase, which is present in several plant growth-promoting rhizobacteria (an intermediate precursor in ethylene biosynthesis in higher plants). Stress causes plants to respond by generating ACC, which is a precursor to ethylene synthesis (Glick et al. 2007).

The rhizosphere is where ACC is secreted, taken up by the roots, and then transformed into ethylene. Ethylene, as is well known, hinders root development in this instance by preventing the intake of nutrients and water. As a result, ethylene concentration is a variable that can affect how well plants grow and develop. The first is that bacteria are more common than other microorganisms, which is one of the two reasons for focusing on bacterial ACC deaminase. Another is that although ACC deaminase in eukaryotic bacteria has been identified, the bulk of ACC deaminase activity is found in various bacterial species (Nascimento et al. 2014). Various physiological systems in plants are significantly reliant on ACC. Plants require balanced amounts of ACC to temporally respond to ethylene under different conditions. Intricate interactions transpire during synthesis, exchange, and transport, especially under stress, and these interactions regulate the ACC level. The researchers concluded that the rhizosphere of resistant plants and the isolation of ACC deaminase-producing bacteria can effectively promote plant growth under environmental abiotic stress factors (Sharma et al. 2020).

Siderophore production, the term "siderophores" denotes a category of metal-chelating agents designed to extract insoluble ferric iron from diverse settings (Nagoba and Vedpaktak 2011). Numerous facultative and aerobic bacteria have been documented to produce siderophores in response to iron deficiency (Neilands 1995). The production of siderophores facilitates the suppression of iron-dependent phytopathogens; siderophore-producing plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) compete with pathogens for Fe (III), hence hindering iron availability and leading to pathogen mortality (Shaikh et al. 2018).

In saline soils and arid conditions, siderophore-producing rhizobacteria face challenges due to high salinity and insufficient iron availability. Saltwater stress inhibits development and modifies plant physiology, with nutritional imbalance being one of the most prominent impacts. Bacteria that enhance plant growth and the role of microbial siderophores in facilitating iron transfer to plants have been shown to alleviate stress (Ferreira et al. 2019). Microorganisms capable of solubilizing phosphorus (P) offer promise for plant fertilizers in soils deficient in P concentration (Khan et al. 2007).

Nitrogen fixation, as is known, nitrogen serves as the building block of all life. It is very important for the formation of membrane lipids, amino acids and nucleotides necessary for

plant development (Pisani 1995). Nitrogen is a limiting nutrient due to the inability of plants to absorb 78% of the abundant nitrogen in the environment. The nitrogen reserve in the soil should be ideal for plant development and producing high-quality products, despite the continuous loss of nitrogen through processes such as soil erosion, chemical volatilization and soil leaching (Arıkan and Karakoyun 2022). There are two ways to provide nitrogen to the soil by reducing N₂. While commercial inorganic fertilizers provide chemical nitrogen fixation, a certain class of prokaryotic organisms provide biological nitrogen fixation (Shin et al. 2016). They can correct the system that converts dinitrogen, which plants lack, into ammonia, thanks to beneficial bacteria (Shin et al. 2016).

Phosphorus solubility is the second most important component affecting plant growth after nitrogen. Phosphorus is abundant in soil in both organic and inorganic forms. Plants absorb only two soluble forms of phosphorus: monobasic and dibasic ions, because phosphorus in soil is insoluble (Bhattacharyya and Jha 2012). In cases of phosphate deficiency, phosphate-containing fertilizers should be applied frequently. However, when phosphorus fertilizer is used, only a small portion is assimilated; the excess remains insoluble in the soil. Phosphorus, which is very important for plant growth, can be absorbed by plants through the activity of beneficial bacteria called phosphate-solubilizing bacteria (PSB) (Nautiyal et al. 2000; Chen et al. 2006). Reports indicate that several soil bacteria often produce low molecular weight organic acids that facilitate the solubilization of inorganic phosphorus (Zaidi et al. 2009).

Potassium solubilization, as the third essential element, potassium is recognized to be crucial for photosynthesis, protein synthesis, and enzyme activation. Without enough potassium, plants produce fewer seeds, have weaker roots, and produce even lower yields. It is vital to find more alternative methods for potassium availability and plant absorption in soils in order to maintain agricultural yield (Kumar and Dubey, 2012). As a result, using potassium solvent PGPR as a biofertilizer would reduce the use of agrochemicals and promote crop production that is sustainable (Setiawati and Mutmainnah 2016; Basak et al. 2017; Wei et al. 2017).

Potassium may be dissolved with PGPR by synthesizing organic acids (Han and Lee 2006). Burkholderia species, Bacillus mucilaginosus, Bacillus edaphicus, and Paenibacillus species are examples of bacteria. It is known that PGPRs that dissolve potassium, like PGPR, release potassium (Liu et al. 2016).

Molecular responses, bacteria must create diverse defense systems under duress. The membrane's structure alters when bacteria experience drought stress. Pseudomonas plays a crucial role since it produces several enzymes and metabolites that enable plants to endure abiotic stress (İpek and Mutluay 2022). Plants require a molecular mechanism to safeguard against stress. Plant stress mechanisms encompass the buildup of stress proteins and the modulation of gene transcription levels (Kavar et al. 2008).

3.ELIMINATION OF ABIOTIC STRESS FACTORS THROUGH RHIZOBACTERIA

The effects of abiotic stress and climate change are complex and pose a serious threat to the productivity and sustainability of agricultural systems. The main abiotic stress factors affecting crop production in contemporary agriculture include salt, drought, chilling and heat (Tardieu and Tuberosa 2010). The effects of stress can be reduced by using beneficial microorganisms in agriculture such as bacteria, mycorrhiza, insects, etc. Bacteria have many functions such as N₂ fixation, phosphate solubilization and the formation of siderophores, indole acetic acid

(IAA), cytokinins and 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC)-deaminase (İpek et al. 2019).

PGPR is used in horticultural crops for procedures such as growth and development stimulation, reproduction and biological control. There are cases where PGPR improves horticultural crop yield. In recent years, plant production and root length have been continuously increased in tests using PGPR. The majority of bacterial strains used as PGPR in fruit crops are from the *Pseudomonas* and *Bacillus* groups. The global threat of drought or water scarcity, one of the abiotic stresses, is worsening. However, evaporation increases as access to water resources decreases (Li et al. 2017). Soil conditions resulting from drought directly affect plant performance, including aspects such as plant morphology, anatomy, physiology, and biochemistry. Impaired seed germination and seedling development negatively affect plant height, nutrition, and biomass, limiting yield. The importance of PGPR in reducing abiotic stress factors is increasing. Several hypotheses have been presented to explain the mechanisms by which rhizobacteria increase plant drought tolerance: (1) Synthesis of phytohormones, including abscisic acid (ABA), gibberellic acid, cytokinins, and indole-3-acetic acid (IAA); (2) reduction of ethylene concentrations in roots via ACC deaminase; (3) facilitation of systemic tolerance via bacterial compounds; and (4) presence of bacterial exopolysaccharides (Calvo-Polanco et al. 2013; Maheshwari et al. 2013; Timmusk et al. 2014).

Salinization, a major challenge to global agricultural productivity, causes salt accumulation in soil and groundwater in over 100 countries, especially in arid and semiarid regions (Shankar and Evelin 2019) and causes significant accumulation of soluble salts (Hazzouri et al. 2020). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) have demonstrated the ability to influence the management of abiotic stress through direct or indirect mechanisms leading to systemic tolerance (Yang et al. 2009). The mechanisms of recovery are complex and sometimes poorly understood; they are studied for their importance in increasing productivity. Stress alleviation occurs through multiple mechanisms orchestrated by a complex network of signaling events during plant-microbe interactions (Smith et al. 2017). The amount triggered has been shown to depend on the dynamic activity of PGPR related to stomatal conductance, ion transport, water and nutrient uptake, phytohormonal levels, signal transduction proteins, antioxidant enzymes, and glucose metabolism in plants.

Calcareous soils constitute approximately 30% of the Earth's terrestrial surface. These soils generally contain plant components such as iron (Fe), manganese (Mn), copper (Cu), and zinc (Zn) due to their poor solubility at high pH levels and the formation of highly insoluble complexes. Limited nutrient availability is a defining feature. Malnutrition is a common and detrimental condition in several important horticultural crops (Webster et al. 2005). Horticultural crops most susceptible to lime-induced chlorosis include peach, pear, grape, and strawberry. Fruit tree growers should use Fe-chelated fertilizers and select trees resistant to lime-induced Fe chlorosis (İpek et al. 2021). Alternative methods should be evaluated due to the high cost of chemical fertilization and the limited availability of lime disease-resistant rootstocks (Tagliavini and Rombola 2001; Sorrenti et al. 2012).

Plants predominantly absorb heavy metals via their roots and, to a lesser degree, through their leaves. Stomata, cuticular fissures, ectodesmata, and aqueous pores are potential channels for leaf absorption. Humans are most exposed to heavy metals by their buildup in fruit and

vegetable plants, which adversely permeate the food chain. The growth and yield of certain crops can be adversely affected by the application of heavy metals in elevated concentrations. Zn and Cd induce oxidative damage in plants and diminish metabolic activity; Cu generates reactive oxygen species and induces oxidative stress. Mercury may cause physical damage and health complications. Chromium affects photosynthesis regarding carbon dioxide fixation, electron transport, photophosphorylation, and enzyme activity. Lead induces anomalous plant morphology; nickel disrupts the balance of nutrients, resulting in irregularities in cell membrane function. Free radicals are generated by iron, which irrevocably modifies biological structures and inflicts damage on proteins, DNA, and membranes. It leads to root discoloration, delayed shoot growth, and leaf necrosis and wilting. PGPR mitigates the effects of heavy metals.

Heat stress brought about by global warming has become a serious concern for agricultural production due to reduced fruit quality and sustainability of production (Morales-Quintana et al. 2020). Accumulation of reactive oxygen species (ROS) brought about by very high temperatures damages chloroplasts and cell membranes (Sarkar et al. 2018). As a result, heat stress interferes with the phenological, physiological and biochemical activities of plants at various life stages (Hassan et al. 2021). Plants can partially withstand heat stress by controlling antioxidants, enhancing membrane integrity and reducing ROS (Ali et al. 2020). PGPR enhances heat stress tolerance through reduced ROS production, reduced membrane oxidation, chloroplast maintenance, improved chlorophyll content, increased redox enzyme expression and accumulation of osmolytes (proline and glycine betaine) (Sarkar et al. 2018).

Around 10% of cropland worldwide is affected by flooding, which is a significant impediment to agricultural output. The plants are faced with a lack of oxygen supply (hypoxia or anoxia) during the soggy circumstances of the root zone, which hampers respiration in the roots and finally results in a lack of energy in the cells. Exogenous Ca^{2+} supplementation as CaCl_2 or $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ enhances plant tolerance to hypoxic/flood stress, according to several studies, via modifying photosynthetic activity, N metabolism, and gene expression control. Exogenous Ca^{2+} supplementation activates sensory and signaling pathways during overflow stress. Ca^{2+} ions are released from mitochondria when plants are subjected to hypoxia as a result of the cytosol's pH dropping (Subbaiah et al. 1998).

PGPRs can alleviate the harmful effects of many environmental stresses, as mentioned in this section. Identification, selection, and use of appropriate beneficial microorganisms can improve strategies to address the growing problems while remaining environmentally sustainable and promoting health. Sustainable agricultural practices can serve as a biofertilization option in response to adverse environmental conditions. Plant growth-promoting root bacteria provide numerous benefits for plant development and growth (Esitken et al. 2002; Esitken et al. 2003; Karakurt and Aslantas 2010; Ipek et al. 2017; Ipek et al. 2021). Auxin, cytokinin, and gibberellins are among the synthesized phytohormones that exhibit beneficial effects (Garca de Salamone et al. 2001; Egamberdiyeva 2005).

4. FUTURE PERSPECTIVE

Rhizobacteria that promote plant growth populate the root zones, facilitating plant growth and development. Moreover, it is essential in protecting plants from several abiotic stresses, including drought, salinity, flooding, and heavy metal exposure. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPRs) have been shown to produce phytohormones, siderophores, organic

acids, and volatile compounds that enhance plant growth, stress-induced metabolites, osmotic solutes, and proline, and to stimulate antioxidant enzymes. These obligations, essential for sustainable agriculture, underscore the significance of the product. Agricultural solutions employed to mitigate abiotic stress, such as drip irrigation, drainage systems, and chemical fertilization, are costly and carry significant adverse environmental consequences.

Most evidence indicates a protective advantage against abiotic stress conferred by PGPR; yet, there are also recognized disadvantages. To mitigate stress and foster growth, plant growth-promoting microorganisms are deemed necessary. Further investigation into the PGPR pathway under abiotic stress conditions is essential.

REFERENCES

- Abdelaal, K. A., Hafez, Y. M., El-Afry, M. M., Tantawy, D. S., Alshaal, T. Effect of some osmoregulators on photosynthesis, lipid peroxidation, antioxidative capacity, and productivity of barley (*Hordeum vulgare* L.) under water deficit stress, *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, 25 (30), 30199-30211.
- Abdelaal, K., AlKahtani, M., Attia, K., Hafez, Y., Király, L. ve Künstler, A. The role of plant growth-promoting bacteria in alleviating the adverse effects of drought on plants, *Biology*, 2021, 10 (6), 520.
- Ahemad, M. ve Khan, M. S. Effect of fungicides on plant growth promoting activities of phosphate solubilizing *Pseudomonas putida* isolated from mustard (*Brassica campestris*) rhizosphere, *Chemosphere*, 2012, 86 (9), 945-950.
- Ahmad, I., Song, X., Hussein Ibrahim, M. E., Jamal, Y., Younas, M. U., Zhu, G., ...Adam Ali, A. Y. The role of melatonin in plant growth and metabolism, and its interplay with nitric oxide and auxin in plants under different types of abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14, 1108507.
- Ahmad, I., Zhu, G., Zhou, G., Liu, J., Younas, M. U., Zhu, Y. Melatonin role in plant growth and physiology under abiotic stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, 24(10), 8759.
- Ahmad, M. S. A., Ashraf, M., , Essential roles and hazardous effects of nickel in plants, *Reviews of environmental contamination and toxicology*, 2012, 125-167.
- Ahsan, N., Lee, D.-G., Lee, S.-H., Lee, K.-W., Bahk, J. D. ve Lee, B.-H. A proteomic screen and identification of waterlogging-regulated proteins in tomato roots, *Plant and Soil*, 2007, 295 (1), 37-51.
- Ali, S., Rizwan, M., Arif, M. S., Ahmad, R., Hasanuzzaman, M., Ali, B. ve Hussain, A. Approaches in enhancing thermotolerance in plants: an updated review, *Journal of Plant Growth Regulation*, 2020, 39 (1), 456-480.
- Aloo, B. N., Dessureault-Rompré, J., Tripathi, V., Nyongesa, B. O., Were, B. A. Signaling and crosstalk of rhizobacterial and plant hormones that mediate abiotic stress tolerance in plants. *Frontiers in Microbiology*, 2023, 14, 1171104.
- Álvarez-Fernández, A., Abadía, J., Abadía, A. Iron deficiency, fruit yield and fruit quality, In: Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms, 2006, p. 85-101.
- Arbona, V., Manzi, M., Ollas, C. D., Gómez-Cadenas, A. Metabolomics as a tool to investigate abiotic stress tolerance in plants, *International journal of molecular sciences*, 2013, 14 (3), 4885-4911.
- Arıkan, Ş. ve Karakoyun, M. Nutrient availability in temperate fruit species: new approaches in bacteria and mycorrhizae, In: Sustainable Horticulture, 2022, p. 39-54.

- Arıkan, Ş., İpek, M., Eşitken, A., Pırlak, L., Dönmez, M. F., Turan, M. Plant growth promoting rhizobacteria mitigate deleterious combined effects of salinity and lime in soil in strawberry plants, *Journal of Plant Nutrition*, 2020, 43 (13), 2028-2039.
- Barnabás, B., Jäger, K. ve Fehér, A. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals, *Plant, cell environment*, 2008, 31 (1), 11-38.
- Basak, B., Sarkar, B., Biswas, D., Sarkar, S., Sanderson, P. Naidu, R. Bio-intervention of naturally occurring silicate minerals for alternative source of potassium: challenges and opportunities, *Advances in agronomy*, 2017, 141, 115-145.
- Ben Rejeb, I., Pastor, V., Mauch-Mani, B. Plant responses to simultaneous biotic and abiotic stress: molecular mechanisms. *Plants*, 2014 , 3(4), 458-475.
- Berg, G., Alavi, M., Schmidt, C. S., Zachow, C., Egamberdieva, D., Kamilova, F. ve Lugtenberg, B. Biocontrol and osmoprotection for plants under salinated conditions, *Molecular microbial ecology of the rhizosphere*, 2013, 1, 561-573.
- Bernstein, N. Plants and salt: Plant response and adaptations to salinity, In: *Model Ecosystems in Extreme Environments*, 2019, p. 101-112.
- Bernstein, N., Eshel, A. ve Beekman, T. Effects of salinity on root growth, *Plant roots: the hidden half*, 2013, 1-784.
- Bhattacharyya, P. N. ve Jha, D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture, *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2012, 28 (4), 1327-1350.
- Calvo-Polanco, M., Sánchez-Romera, B. ve Aroca, R. Arbuscular mycorrhizal fungi and the tolerance of plants to drought and salinity, In: *Symbiotic endophytes*, 2013, p. 271-288.
- Cambridge, M., Zavala-Perez, A., Cawthray, G., Mondon, J. ve Kendrick, G. Effects of high salinity from desalination brine on growth, photosynthesis, water relations and osmolyte concentrations of seagrass *Posidonia australis*, *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 115 (1-2), 252-260.
- Chen, Y., Rekha, P., Arun, A., Shen, F., Lai, W.-A. ve Young, C. C. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities, *Applied soil ecology*, 2006, 34 (1), 33-41.
- Clemens, S. ve Ma, J. F. Toxic heavy metal and metalloid accumulation in crop plants and foods, *Annual review of plant biology*, 2016, 67, 489-512.
- Colmer, T. ve Voesenek, L. Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments, *Functional plant biology*, 2009, 36 (8), 665-681.
- Dai, A. Increasing drought under global warming in observations and models, *Nature climate change*, 2013, 3 (1), 52-58.
- Das, R., Biswas, S. Influence of abiotic stresses on seed production and quality. In *Seed Biology Updates*, 2022, IntechOpen.
- de la Fuente Cantó, C., Simonin, M., King, E., Moulin, L., Bennett, M. J., Castrillo, G. Laplaze, L. An extended root phenotype: the rhizosphere, its formation and impacts on plant fitness, *The Plant Journal*, 2020, 103 (3), 951-964.
- Demidchik, V., Straltsova, D., Medvedev, S. S., Pozhvanov, G. A., Sokolik, A. ve Yurin, V., Stress-induced electrolyte leakage: the role of K⁺-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment, *Journal of experimental botany*, 2014, 65 (5), 1259-1270.
- Donnini, S., Dell'Orto, M. ve Zocchi, G. Oxidative stress responses and root lignification induced by Fe deficiency conditions in pear and quince genotypes, *Tree physiology*, 2011, 31 (1), 102-113.
- Dutta, S. ve Podile, A. R. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): the bugs to debug the root zone, *Critical reviews in microbiology*, 2010, 36 (3), 232-244.

- Engamberdieva, D., Kucharova, Z., Davranov, K., Berg, G., Makarova, N., Azarova, T., Chebotar, V., Tikhonovich, I., Kamilova, F. ve Validov, S. Z. Bacteria able to control foot and root rot and to promote growth of cucumber in salinated soils, *Biology and fertility of soils*,2011, 47 (2), 197-205.
- Engamberdiyeva, D. Plant-growth-promoting rhizobacteria isolated from a Calcisol in a semi-arid region of Uzbekistan: biochemical characterization and effectiveness, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*,2005, 168 (1), 94-99.
- Eşitken, A., Karlidağ, H., Ercişli, S. Şahin, F. Effects of Foliar Application of Bacillus subtilis Osu-142 on the Yield, Growth and Control of Shot-Hole Disease (Coryneum blight),2002, Gartenbauwissenschaft.
- Esitken, A., Karlidag, H., Ercisli, S., Turan, M. Sahin, F. The effect of spraying a growth promoting bacterium on the yield, growth and nutrient element composition of leaves of apricot (Prunus armeniaca L. cv. Hacıhaliloglu), *Australian Journal of Agricultural Research*, 2003, 54 (4), 377-380.
- Feng, H., Guan, D., Sun, K., Wang, Y., Zhang, T., Wang, R. Expression and signal regulation of the alternative oxidase genes under abiotic stresses. *Acta Biochim Biophys Sin*,2013, 45(12), 985-994.
- Ferreira, M. J., Silva, H. ve Cunha, A. Siderophore-producing rhizobacteria as a promising tool for empowering plants to cope with iron limitation in saline soils: A review, *Pedosphere*,2019, 29 (4), 409-420.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K. ve West, P. C. Solutions for a cultivated planet, *Nature*,2011, 478 (7369), 337-342.
- Francini, A. ve Sebastiani, L. Abiotic stress effects on performance of horticultural crops, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*,2019, 5: 67.
- García de Salamone, I. E., Hynes, R. K., Nelson, L. M. Cytokinin production by plant growth promoting rhizobacteria and selected mutants, *Canadian Journal of microbiology*,2001, 47 (5), 404-411.
- Gill, S. S. ve Tuteja, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants, *Plant physiology and biochemistry*,2010, 48 (12), 909-930.
- Glick, B. R., Todorovic, B., Czarny, J., Cheng, Z., Duan, J., McConkey, B. Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase, *Critical Reviews in Plant Sciences*,2007, 26 (5-6), 227-242.
- Gong, S., Ding, Y., Hu, S., Ding, L., Chen, Z., Zhu, C. The role of HD-Zip class I transcription factors in plant response to abiotic stresses. *Physiologia Plantarum*,2019, 167(4), 516-525.
- Gray, E. ve Smith, D. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant–bacterium signaling processes, *Soil biology and biochemistry*,2005, 37 (3), 395-412.
- Gull, A., Lone, A. A., Wani, N. U. I. Biotic and abiotic stresses in plants. *Abiotic and biotic stress in plants*,2019, 7, 1-9.
- Han, H.-S., Lee, K. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber, *Plant soil and Environment*,2006, 52 (3), 130.
- Hanaka, A., Ozimek, E., Reszczyńska, E., Jaroszek-Ścisła, J. Stolarz, M. Plant Tolerance to Drought Stress in the Presence of Supporting Bacteria and Fungi: An Efficient Strategy in Horticulture, *Horticulturae*,2021, 7 (10), 390.
- Hassan, M. U., Chattha, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Barbanti, L., Aamer, M., Iqbal, M. M., Nawaz, M., Mahmood, A., Ali, A. Heat stress in cultivated plants: Nature, impact,

- mechanisms, and mitigation strategies—A review, *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*,2021, 155 (2), 211-234.
- Hattori, Y., Nagai, K., Ashikari, M. Rice growth adapting to deepwater, *Current opinion in plant biology*,2011, 14 (1), 100-105.
- Hazzouri, K. M., Flowers, J. M., Nelson, D., Lemansour, A., Masmoudi, K., Amiri, K. Prospects for the study and improvement of abiotic stress tolerance in date palms in the post-genomics era, *Frontiers in plant science*,2020, 11, 293.
- Hu, Y., Xie, G., Jiang, X., Shao, K., Tang, X., Gao, G. The relationships between the free-living and particle-attached bacterial communities in response to elevated eutrophication, *Frontiers in Microbiology*,2020, 11, 423.
- Hurmat, R. S., Bansal, G. Does abiotic stresses enhance the production of secondary metabolites? A review. *Pharma Innov. J*,2020, 9, 412-422.
- Imran, Q. M., Falak, N., Hussain, A., Mun, B. G., Yun, B. W. Abiotic stress in plants; stress perception to molecular response and role of biotechnological tools in stress resistance. *Agronomy*,2021, 11(8), 1579.
- İpek, M. ve Mutluay, E. Enhancing the physiological and molecular responses of horticultural plants to drought stress through plant growth-promoting rhizobacterias, In: *Sustainable Horticulture*, 2022, p. 185-199.
- İpek, M., Aras, S., Arıkan, Ş., Eşitken, A., Pırlak, L., Dönmez, M. F., Turan, M. Root plant growth promoting rhizobacteria inoculations increase ferric chelate reductase (FC-R) activity and Fe nutrition in pear under calcareous soil conditions, *Scientia Horticulturae*,2017, 219, 144-151.
- İpek, M., Arıkan, Ş., Eşitken, A., Pırlak, L., Turan, M., Dönmez, M. F. Effects of Some Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Growth and Nutrition of Apple Cv. “Braeburn” under High Lime Soil Condition, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*,2021, 52 (5), 432-442.
- İpek, M., Arıkan, Ş., Pırlak, L., Eşitken, A. Sustainability of crop production by PGPR under abiotic stress conditions, In: *Plant growth promoting rhizobacteria for agricultural sustainability*, 2019, p. 293-314.
- Isayenkov, S. V. ve Maathuis, F. J. Plant salinity stress: many unanswered questions remain, *Frontiers in Plant Science*,2019, 10, 80.
- Jha, U. C., Nayyar, H., Jha, R., Khurshid, M., Zhou, M., Mantri, N., Siddique, K. H. Long non-coding RNAs: emerging players regulating plant abiotic stress response and adaptation. *BMC Plant Biology*,2020, 20, 1-20.
- Karakurt, H. ve Aslantas, R. Effects of some plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) strains on plant growth and leaf nutrient content of apple, *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*,2010, 18 (1), 101-110.
- Kavar, T., Maras, M., Kidrič, M., Šuštar-Vozlič, J., Meglič, V. Identification of genes involved in the response of leaves of *Phaseolus vulgaris* to drought stress, *Molecular Breeding*,2008, 21 (2), 159-172.
- Khan, M. A., Asaf, S., Khan, A. L., Adhikari, A., Jan, R., Ali, S., Imran, M., Kim, K.-M., Lee, I.-J. Halotolerant rhizobacterial strains mitigate the adverse effects of NaCl stress in soybean seedlings, *BioMed Research International*, 2019.
- Khan, M. S., Zaidi, A. ve Wani, P. A. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture—a review, *Agronomy for sustainable development*,2007, 27 (1), 29-43.

- Khan, N., Ali, S., Shahid, M. A., Mustafa, A., Sayyed, R. Z., Curá, J. A. Insights into the interactions among roots, rhizosphere, and rhizobacteria for improving plant growth and tolerance to abiotic stresses: a review. *Cells*,2021, *10*(6), 1551.
- Khan, N., Bano, A. ve Babar, M. The root growth of wheat plants, the water conservation and fertility status of sandy soils influenced by plant growth promoting rhizobacteria, *Symbiosis*,2017, *72* (3), 195-205.
- Khator, K., Parihar, S., Jasik, J.,Shekhawat, G. S. Nitric oxide in plants: an insight on redox activity and responses toward abiotic stress signaling. *Plant Signaling & Behavior*,2024, *19*(1), 2298053.
- Kim, H., Seomun, S., Yoon, Y., Jang, G. Jasmonic acid in plant abiotic stress tolerance and interaction with abscisic acid. *Agronomy*, 2021, *11*(9), 1886.
- Kumar, P. ve Dubey, R. Plant growth promoting rhizobacteria for biocontrol of phytopathogens and yield enhancement of *Phaseolus vulgaris*, *J Curr Pers Appl Microbiol*,2012, *1* (6), 38.
- Kumar, S., Kaur, R., Kaur, N., Bhandhari, K., Kaushal, N., Gupta, K., Bains, T. ve Nayyar, H. Heat-stress induced inhibition in growth and chlorosis in mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) is partly mitigated by ascorbic acid application and is related to reduction in oxidative stress, *Acta Physiologiae Plantarum*,2011, *33* (6), 2091-2101.
- Lata, R., Chowdhury, S., Gond, S. K.,White Jr, J. F. Induction of abiotic stress tolerance in plants by endophytic microbes. *Letters in applied microbiology*,2018, *66*(4), 268-276.
- Lee, S., Jung, J., Sung, J., Ha, S., Lee, D., Kim, T. ve Song, B. Responses of nutrient uptake, carbohydrates and antioxidants against low temperature in plants, *Korean Journal of Agricultural Science*,2014, *41* (2), 75-83.
- Li, N., Chen, F., Cui, F., Sun, W., Zhang, J., Qian, L., Yang, Y., Wu, D., Dong, Y. ve Jiang, J. Improved postharvest quality and respiratory activity of straw mushroom (*Volvarella volvacea*) with ultrasound treatment and controlled relative humidity, *Scientia Horticulturae*,2017, *225*, 56-64.
- Liu, F., Jensen, C. R., Shahanzari, A., Andersen, M. N., Jacobsen, S.-E., ABA regulated stomatal control and photosynthetic water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) during progressive soil drying, *Plant Science*, 2005, *168* (3), 831-836.
- Liu, H., Xiao, C., Qiu, T., Deng, J., Cheng, H., Cong, X., ... Zhang, Y. Selenium regulates antioxidant, photosynthesis, and cell permeability in plants under various abiotic stresses: a review. *Plants*,2022, *12*(1), 44.
- Liu, W., Zhang, Y., Jiang, S., Deng, Y., Christie, P., Murray, P. J., Li, X., Zhang, J. Arbuscular mycorrhizal fungi in soil and roots respond differently to phosphorus inputs in an intensively managed calcareous agricultural soil, *Scientific reports*,2016, *6* (1), 1-11.
- Loreti, E., van Veen, H. ve Perata, P. Plant responses to flooding stress, *Current opinion in plant biology*, 2016, *33*, 64-71.
- Lucena, J. J. Effects of bicarbonate, nitrate and other environmental factors on iron deficiency chlorosis. A review, *Journal of Plant Nutrition*,2000, *23* (11-12), 1591-1606.
- Ma, Z., Hu, L., & Jiang, W.Understanding AP2/ERF transcription factor responses and tolerance to various abiotic stresses in plants: A comprehensive review. *International Journal of Molecular Sciences*,2024, *25*(2), 893.
- Maheshwari, D. K., Saraf, M. ve Aeron, A. Bacteria in agrobiolgy,2013, *Disease management*.
- Mishra, A. K. ve Singh, V. P. A review of drought concepts, *Journal of hydrology*,2010, *391* (1-2), 202-216.
- Moldovan, L. ve Moldovan, N. I. Oxygen free radicals and redox biology of organelles, *Histochemistry and cell biology*,2004, *122* (4), 395-412.

- Morales-Quintana, L., Waite, J. M., Kalcsits, L., Torres, C. A. ve Ramos, P. Sun injury on apple fruit: Physiological, biochemical and molecular advances, and future challenges, *Scientia Horticulturae*, 2020, 260, 108866.
- Munns, R. ve Tester, M. Mechanisms of salinity tolerance, *Annu. Rev. Plant Biol.*, 2008, 59, 651-681.
- Nagoba, B. ve VEDPATHAK, D. V. Medical applications of siderophores—a review, *European Journal of General Medicine*, 2011, 8 (3), 230-233.
- Narsing Rao, M. P., Lohmaneeratana, K., Bunyoo, C., Thamchaipenet, A. Actinobacteria–plant interactions in alleviating abiotic stress. *Plants*, 2022, 11(21), 2976.
- Nascimento, F. X., Rossi, M. J., Soares, C. R., McConkey, B. J. ve Glick, B. R. New insights into 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase phylogeny, evolution and ecological significance, *PLoS One*, 2014, 9 (6), e99168.
- Nautiyal, C. S., Bhadauria, S., Kumar, P., Lal, H., Mondal, R., Verma, D. Stress induced phosphate solubilization in bacteria isolated from alkaline soils, *FEMS microbiology letters*, 2000, 182 (2), 291-296.
- Neilands, J. Siderophores: structure and function of microbial iron transport compounds, *Journal of Biological Chemistry*, 1995, 270 (45), 26723-26726.
- Nezhadahmadi, A., Prodhon, Z. H. Faruq, G. Drought tolerance in wheat, *The Scientific World Journal*, 2013.
- Nishiuchi, S., Yamauchi, T., Takahashi, H., Kotula, L. Nakazono, M. Mechanisms for coping with submergence and waterlogging in rice, *Rice*, 2012, 5 (1), 1-14.
- Niu, G., Davis, T. D. ve Masabni, J. A review of salinity tolerance research in horticultural crops, *Journal of Arid Land Studies*, 2019, 29 (2), 53-59.
- Park, C. J., Park, J. M. Endoplasmic reticulum plays a critical role in integrating signals generated by both biotic and abiotic stress in plants. *Frontiers in plant science*, 2019, 10, 399.
- Pieterse, C. M., Leon-Reyes, A., Van der Ent, S., Van Wees, S. C. Networking by small-molecule hormones in plant immunity, *Nature chemical biology*, 2009, 5 (5), 308-316.
- Pisani, P. Mineral Nutrition Of Higher Plants, 1995, Jstor.
- Pourrut, B., Shahid, M., Dumat, C., Winterton, P., Pinelli, E. Lead uptake, toxicity, and detoxification in plants, *Reviews of environmental contamination and toxicology*, 2011, volume 213, 113-136.
- Prisa, D. Plant resistance to abiotic stresses. *International Journal of Science and Research Archive*, 2023, 8(2), 067-073.
- Ragel, P., Raddatz, N., Leidi, E. O., Quintero, F. J., Pardo, J. M. Regulation of K⁺ nutrition in plants, *Frontiers in Plant Science*, 2019, 281.
- Rahman, A. Auxin: a regulator of cold stress response. *Physiologia plantarum*, 2013. 147(1), 28-35.
- Rane, J., Singh, A. K., Kumar, M., Boraiah, K. M., Meena, K. K., Pradhan, A., Prasad, P. V. The adaptation and tolerance of major cereals and legumes to important abiotic stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, 2021, 22(23), 12970.
- Rehman, A. U., Nazir, S., Irshad, R., Tahir, K., ur Rehman, K., Islam, R. U., Wahab, Z. Toxicity of heavy metals in plants and animals and their uptake by magnetic iron oxide nanoparticles, *Journal of Molecular Liquids*, 2021, 321, 114455.
- Reis, S. P. D., Lima, A. M., De Souza, C. R. B. Recent molecular advances on downstream plant responses to abiotic stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 2012. 13(7), 8628-8647.
- Riyazuddin, R., Verma, R., Singh, K., Nisha, N., Keisham, M., Bhati, K. K., Kim, S. T. ve Gupta, R. Ethylene: A Master Regulator of Salinity Stress Tolerance in Plants, *Biomolecules*, 2020, 10 (6), 959.

- Rombolà, A. D., Tagliavini, M. Iron nutrition of fruit tree crops, In: Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms, 2006, p. 61-83.
- Rubin, N., Huleihel, M., Zaccai, M. Stress conditions during plant growth increase the anti-herpetic properties of *Lilium candidum* leaf extracts and fractions. *Journal of Medicinal Plants Research*, 2015, 9(37), 954-961.
- Rysiak, A., Dresler, S., Hanaka, A., Hawrylak-Nowak, B., Strzemski, M., Kováčik, J., Sowa, I., Latalski, M., Wójciak, M. High temperature alters secondary metabolites and photosynthetic efficiency in *Heracleum sosnowskyi*, *International journal of molecular sciences*, 2021, 22 (9), 4756.
- Salehi-Lisar, S. Y., Bakhshayeshan-Agdam, H. Drought stress in plants: causes, consequences, and tolerance, In: Drought Stress Tolerance in Plants, 2016 , Vol 1, p. 1-16.
- Sarkar, J., Chakraborty, B., Chakraborty, U. Plant growth promoting rhizobacteria protect wheat plants against temperature stress through antioxidant signalling and reducing chloroplast and membrane injury, *Journal of Plant Growth Regulation*, 2018, 37 (4), 1396-1412.
- Sasidharan, R., Voeselek, L. A. Ethylene-mediated acclimations to flooding stress, *Plant Physiology*, 2015, 169 (1), 3-12.
- Schaffer, B., Andersen, P. C. Handbook of environmental physiology of fruit crops. Vol. II: Sub-tropical and tropical crops, CRC Press, Inc., 1994, Boca Raton, FL.
- Setiawati, T.C., Mutmainnah, L. Solubilization of potassium containing mineral by microorganisms from sugarcane rhizosphere, *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2016, 9, 108-117.
- Shaikh, S., Wani, S., Sayyed, R, Impact of interactions between rhizosphere and rhizobacteria: a review, *J Bacteriol Mycol*, 2018, 5 (1), 1058.
- Shankar, V., Evelin, H. Strategies for reclamation of saline soils, In: Microorganisms in Saline Environments: Strategies and Functions, 2019, p. 439-449.
- Sharma, V., Salwan, R., Tawfeeq, L. Molecular aspects of plant beneficial microbes in agriculture, 2020, Academic Press, p.
- Shin, W., Islam, R., Benson, A., Joe, M. M., Kim, K., Gopal, S., Samaddar, S., Banerjee, S., Sa, T. Role of diazotrophic bacteria in biological nitrogen fixation and plant growth improvement, *Korean journal of soil science and fertilizer*, 2016, 49 (1), 17-29.
- Smith, D. L., Gravel, V., Yergeau, E. Signaling in the Phytomicrobiome, *Frontiers in plant science*, 2017, 8, 611.
- Sorrenti, G., Toselli, M., Marangoni, B. Use of compost to manage Fe nutrition of pear trees grown in calcareous soil, *Scientia horticulturae*, 2012, 136, 87-94.
- Steduto, P., Faurès, J.-M., Hoogeveen, J., Winpenny, J., Burke, J. Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security, 2012, *Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- Strimbeck, G. R., Schaberg, P. G., Fossdal, C. G., Schröder, W. P., Kjellsen, T. D. Extreme low temperature tolerance in woody plants, *Frontiers in Plant Science*, 2015, 6, 884.
- Subbaiah, C. C., Bush, D. S., Sachs, M. M. Mitochondrial contribution to the anoxic Ca²⁺ signal in maize suspension-cultured cells, *Plant Physiology*, 1998, 118 (3), 759-771.
- Sun, X., Zhu, Z., Zhang, L., Fang, L., Zhang, J., Wang, Q., Li, S., Liang, Z. Xin, H. Overexpression of ethylene response factors VaERF080 and VaERF087 from *Vitis amurensis* enhances cold tolerance in *Arabidopsis*, *Scientia Horticulturae*, 2019, 243, 320-326.
- Tagliavini, M., Rombola, A. D. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems, *European Journal of Agronomy*, 2001, 15 (2), 71-92.
- Tao, R., Liu, Y., Jing, W. Response and Regulatory Network Analysis of Roots and Stems to Abiotic Stress in *Populus trichocarpa*. *Forests*, 2022, 13(8), 1300.

- Tardieu, F., Tuberosa, R. Dissection and modelling of abiotic stress tolerance in plants, *Current opinion in plant biology*, 2010, 13 (2), 206-212.
- Timmusk, S., Abd El-Daim, I. A., Copolovici, L., Tanilas, T., Kännaste, A., Behers, L., Nevo, E., Seisenbaeva, G., Stenström, E., Niinemets, Ü. Drought-tolerance of wheat improved by rhizosphere bacteria from harsh environments: enhanced biomass production and reduced emissions of stress volatiles, 2014, *Plos one*, 9 (5), e96086.
- Toh, S., Imamura, A., Watanabe, A., Nakabayashi, K., Okamoto, M., Jikumaru, Y., Hanada, A., Aso, Y., Ishiyama, K., Tamura, N. High temperature-induced abscisic acid biosynthesis and its role in the inhibition of gibberellin action in Arabidopsis seeds, *Plant physiology*, 2008, 146 (3), 1368-1385.
- Turhan, E., Asgher, M. The contribution of molecular priming to abiotic stress tolerance in plants. *Frontiers in Plant Science*, 2024, 14, 1352312.
- Ullah, A., Mushtaq, H., Fahad, S., Shah, A., Chaudhary, H. Plant growth promoting potential of bacterial endophytes in novel association with *Olea ferruginea* and *Withania coagulans*, *Microbiology*, 2017, 86 (1), 119-127.
- Umar, O. B., Ranti, L. A., Abdulbaki, A. S., Bola, A. L., Abdulhamid, A. K., Biola, M. R., Victor, K. O. Stresses in plants: Biotic and abiotic. Current trends in wheat research, 2021, 1-8.
- Valipour, M., Baninasab, B., Khoshgoftarmanesh, A. H., Gholami, M. Oxidative stress and antioxidant responses to direct and bicarbonate-induced iron deficiency in two quince rootstocks, *Scientia horticultrae*, 2020, 261, 108933.
- Voesenek, L. A., Bailey-Serres, J. Flood adaptive traits and processes: an overview, *New Phytologist*, 2015, 206 (1), 57-73.
- Wani, P. A., Khan, M., Zaidi, A. Chromium-reducing and plant growth-promoting Mesorhizobium improves chickpea growth in chromium-amended soil, *Biotechnology letters*, 2008a, 30 (1), 159-163.
- Wani, P. A., Khan, M., Zaidi, A. Effect of metal-tolerant plant growth-promoting Rhizobium on the performance of pea grown in metal-amended soil, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2008b, 55 (1), 33-42.
- Webster, A., Wertheim, S., Tromp, J., Fundamentals of temperate zone tree fruit production, Backhuys, 2005, p.
- Wei, Y., Zhao, Y., Fan, Y., Lu, Q., Li, M., Wei, Q., Zhao, Y., Cao, Z., Wei, Z. Impact of phosphate-solubilizing bacteria inoculation methods on phosphorus transformation and long-term utilization in composting, *Bioresource technology*, 2017, 241, 134-141.
- Wu, X., Gong, F., Cao, D., Hu, X., Wang, W. Advances in crop proteomics: PTMs of proteins under abiotic stress. *Proteomics*, 2016, 16(5), 847-865.
- Yang, J., Kloepper, J. W., Ryu, C.-M. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress, *Trends in plant science*, 2009, 14 (1), 1-4.
- Yashaswini, R., Sagar, S. P., Kuchanur, P. H., Raghavendra, V. C., Prasad, B. K., Amaregouda, A., Patil, A. Plant Proteome in Response to Abiotic Stresses, 2024.
- Yu, T., Ma, X., Zhang, J., Cao, J., Cao, S., Li, W., Yang, G. Progress in Transcriptomics and Metabolomics in Plant Responses to Abiotic Stresses, 2024.
- Zaidi, A., Khan, M., Ahemad, M., Oves, M. Plant growth promotion by phosphate solubilizing bacteria, *Acta microbiologica et immunologica Hungarica*, 2009, 56 (3), 263-284.
- Zhang, F., Jiang, Y., Bai, L., Zhang, L., Chen, L., Li, H., Yin, Y., Yan, W., Yi, Y., Guo, Z. The ICE-CtBF-COR pathway in cold acclimation and AFPs in plants, *Middle East Journal of Scientific Research*, 2011, 8 (2), 493-498.
- Zhang, X., Shabala, S., Koutoulis, A., Shabala, L., Johnson, P., Hayes, D., Nichols, D. S., Zhou, M. Waterlogging tolerance in barley is associated with faster aerenchyma formation in adventitious roots, *Plant and Soil*, 2015, 394 (1), 355-372.

TÜKETİCİLER SÜRDÜRÜLEBİLİR KÜLTÜR MANTARINA DAHA FAZLA ÖDEMEYE İSTEKLİ Mİ?

Arş. Gör. Dr. Çağla KART

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü,
cagla.kart@ege.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-9822-9908

Dr. Neşe ADANACIOĞLU

Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü,
nese.adanacioglu@tarimorman.gov.tr- ORCID ID: 0000-0001-9009-8635

Prof. Dr. Hakan ADANACIOĞLU

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü,
hakan.adanacioglu@ege.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-8439-8524

ÖZET

Mantar yetiştiriciliğinde sürdürülebilir üretim uygulamalarının benimsenmesi değişen pazar taleplerinin karşılanması ve çevresel kaygıların giderilmesi açısından önemli görülmektedir. Özellikle sağlıklı beslenme faktörünün tüketicilerin gıda tercihlerinde giderek daha baskın bir rol oynamaya başlaması sürdürülebilir bir şekilde yetiştirilen mantarlara olan talebin artışına yol açması öngörülmektedir. Bununla birlikte, sürdürülebilir uygulamalar ile üretilen yenilenebilir kültür mantarlarına konvansiyonel olanlara göre tüketicilerin ne kadar daha fazla ödeme yapmaya razı olabileceği merak konusudur. Bu çalışmada, “Tüketiciler sürdürülebilir yöntemlerle üretilmiş kültür mantarları için daha fazla ödeme yapmaya istekli mi?” sorusuna yanıt aranmıştır. Tüketicilerin ödeme istekliliğini belirlemek ve davranışlarını doğru analiz etmek, pazar segmentasyonu, yatırım kararları ve rekabet stratejileri açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmanın birincil verilerini İzmir ilinin sosyo-ekonomik yönden farklılık gösteren ilçelerinde yaşayan tüketiciler ile yüz yüze gerçekleştirilen anketlerden elde edilen veriler oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında tüketicilerin konvansiyonel ve sürdürülebilir üretim yöntemleriyle üretilen kültür mantarlarına olan ödeme istekliliği sosyo-ekonomik değişkenler açısından analiz edilmiştir. Tüketicilerin konvansiyonel ve sürdürülebilir üretim yöntemleriyle üretilen kültür mantarlarına olan ödeme istekliliği tobit model kullanılarak belirlenmiştir. Tobit modelde kullanılan değişkenler; tüketicinin yaşı, eğitimi, cinsiyeti, medeni durumu, hane halkının geliri, hanedeki birey sayısı, ürünün satın alınma sıklığı, ürünün satın alınma yeri ve ürün fiyatıdır. Genel olarak değerlendirildiğinde farklı üretim şekillerine göre üretilen 1 kg’lık kültür mantarına olan ödeme istekliliği organik sertifikalı mantar için 4.74 USD, iyi tarım sertifikalı üründe 4.16 USD ve konvansiyonel üründe 3.16 USD olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Ödeme istekliliği, kültür mantarı, sürdürülebilir, konvansiyonel

ARE CONSUMERS WILLING TO PAY MORE FOR SUSTAINABLE CULTIVATED MUSHROOMS?

ABSTRACT

Adopting sustainable production practices in mushroom cultivation is considered important in terms of meeting changing market demands and eliminating environmental concerns. In particular, it is anticipated that the increasingly dominant role of the healthy nutrition factor in consumers' food preferences will lead to an increase in the demand for sustainably grown mushrooms. However, it is a matter of curiosity how much more consumers will be willing to pay for renewable cultivated mushrooms produced with sustainable practices compared to conventional ones. This study seeks to answer the question, “Are consumers willing to pay more for sustainably produced cultivated mushrooms?” Determining consumers' willingness to pay and analysing their behaviours accurately are important for market segmentation, investment decisions and competitive strategies. The primary data of this study consist of data obtained from face-to-face surveys with consumers living in socio-economically different districts of Izmir province. Within the scope of this study, consumers' willingness to pay for cultivated mushrooms produced by conventional and sustainable production methods was analysed in terms of socio-economic variables. Consumers' willingness to pay for cultivated mushrooms produced by conventional and sustainable production methods was determined using tobit model. The variables used in the Tobit model are age, education, gender, marital status, household income, number of individuals in the household, frequency of product purchase, place of product purchase and product price. In general, the willingness to pay for 1 kg of cultivated mushroom produced according to different production methods was calculated as 4.74 USD for organic certified mushroom, 4.16 USD for good agriculture certified product and 3.16 USD for conventional product.

Keywords: Willingness to pay, cultivated mushrooms, sustainable, conventional

1.GİRİŞ

Yenilebilir mantarlar; yüksek protein içeriği, karbonhidratlar, vitaminler ve minerallerin yanı sıra düşük yağ içeriğine sahip olup, düzenli olarak tüketilen çoğu sebzeyle kıyasla daha yüksek protein içeriğine sahiptir. Mantarlar, geleneksel gıda tahılları ve süt ürünleri kadar yaygın olarak tüketilmeler de ham protein içerikleri çok daha yüksektir (Jayaraman ve ark., 2024).

Son yıllarda dünya genelinde mantar üretimi, özellikle Çin, Hindistan ve Vietnam gibi gelişmekte olan ülkelerin katkılarıyla hızla artmaktadır. Teknolojik gelişmeler, üretim kapasitesinin artmasına ve buna bağlı olarak tüketici taleplerinin çeşitlenmesine olanak sağlamıştır. Bu gelişmeler, dünya genelinde mantar tüketiminin artmasına ve yeni ürünlerin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır (Chang, 2006). Yenilebilir mantarlar, 100'den fazla ülkede farklı sistemler ve farklı ölçeklerde ticari olarak yetiştirilmektedir. Küresel düzeyde mantarların üretimi yıllık yaklaşık %7'lik bir büyüme oranıyla artış göstermekte olup, 2026 yılına kadar 20.84 milyon tona ulaşması beklenmektedir. Küresel mantar tüketiminin ise mevcut durumda yaklaşık 12.74 milyon ton olduğu belirtilmektedir. Hem yenilebilir gıdalar olarak kabul edilmesi hem de yüksek protein içeriğine sahip olması nedeniyle mantarların sürdürülebilir üretiminin önemli olduğu vurgulanmaktadır (El-Ramady ve ark., 2022). Mantar endüstrisinde

sürdürülebilir üretim uygulamaları benimsenerek hem çevresel endişelere çözüm getirebileceği hem de besin açısından zengin özellikler içeren mantarın talebinin karşılanabileceği ifade edilmektedir. Ayrıca, tüketicilerin yüksek verimli ve güvenilir bir gıda kaynağı olarak mantarların sağlık faydalarını giderek daha fazla takdir ettiği ve bu ürünlerin et ve süt ürünlerine olan bağımlılığı azaltma potansiyeline sahip olduğunu fark etmekte olduğu belirtilmektedir (Cosky, 2023).

Mantar yetiştiriciliğinde sürdürülebilir üretim uygulamalarının benimsenmesi değişen pazar taleplerinin karşılanması ve çevresel kaygıların giderilmesi açısından önemli görülmektedir. Özellikle sağlıklı beslenme faktörünün tüketicilerin gıda tercihlerinde giderek daha baskın bir rol oynamaya başlaması sürdürülebilir bir şekilde yetiştirilen mantarlara olan talebin artışına yol açması öngörülmektedir. Bununla birlikte, sürdürülebilir uygulamalar ile üretilen yenilenebilir kültür mantarlarına konvansiyonel olanlara göre tüketicilerin ne kadar daha fazla ödeme yapmaya razı olabileceği merak konusudur.

Dünya genelinde mantarlarla ilgili birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, tüketicilerin mantar tüketim ve satın alma davranışlarını inceleyen araştırmalar sınırlıdır. Çoğu çalışma mantarların besin içeriği ve sağlık üzerindeki etkilerine odaklanmıştır (Barros ve ark., 2007; Ouzouni ve ark., 2009; Heleno ve ark., 2015; Jiang ve ark., 2023). Dünya’da farklı ülkelerde geçmiş yıllarda yapılan araştırmalara ulaşılmıştır. Örneğin Patterson (2003), çalışmasında katılımcıların %94’ünün beyaz şapkalı mantarları tercih ettiğini bulmuştur. Mayett ve ark. (2006), Meksika’da yaptığı araştırmada, kentli tüketicilerin %49.4’ünün mantar satın almadığını, %50.6’sının ise hoşlanmama (%75.5), farkında olmama (%18.3) gibi nedenlerle satın almadığını belirtmiştir. Hindistan’da yapılan bir çalışmada (Mahantesh ve ark., 2014), renk, fiyat ve şekil gibi faktörlerin tüketicilerin mantar satın alma davranışlarını etkilediği bulunmuştur. Brezilya’da Linde ve ark. (2014), en çok beyaz şapkalı mantarların aroma ve lezzet nedeniyle tercih edildiğini belirtmiştir. Portekiz’de Boin ve Nunes (2018), katılımcıların %81.9’unun mantar tükettiğini ve haftada bir tüketim oranının %41 olduğunu göstermiştir. Beyaz şapkalı mantarlar en çok tüketilen tür olmuştur. Chakrabarti ve ark. (2019), Amerika’da tüketicilerinin çeşitli etiketlerle pazarlanan mantarlar için tercihlerini ve ödeme isteklerini belirlemiştir. Chakrabarti ve ark. (2019)’nın çalışmasında elde ettiği sonuçlar, popüler Agaricus ve özel mantarlar için pazarda üç pazarlama segmentini (fiyat/GMO etiketi, yerel/organik yetiştirilmiş ve geleneksel mantar çeşitleri) ortaya koymaktadır. Chakrabarti ve ark. (2019)’nın çalışması, mantarlar uygun şekilde “yerel olarak yetiştirilmiş” veya “organik” olarak etiketlenirse, üreticilerin ve perakendecilerin belirli bir tüketici grubuna yönelik fiyat farkı uygulayabileceklerini göstermiştir. Türkiye’de ise Bursa, Antalya, Iğdır, Trabzon, Kastamonu ve Sivas gibi illerde mantar tüketimine yönelik araştırmalar gerçekleştirilmiştir (Karahana ve ark., 2014; Yılmaz ve ark., 2016). Gürgen ve ark. (2018) da çeşitli uzmanlar görüşünü alarak elde ettikleri verilerle bulanık analitik hiyerarşi süreci (AHP) yöntemini kullanarak tüketicilerin mantar tüketim tercihlerini etkileyen en önemli üç kriterin üretim türü, satın alma yeri ve paketleme olduğu saptamışlardır.

Bu çalışmada, “Tüketiciler sürdürülebilir yöntemlerle üretilmiş kültür mantarları için daha fazla ödeme yapmaya istekli mi?” sorusuna yanıt aranmıştır. İzmir’de yapılan anket çalışmasıyla, tüketicilerin konvansiyonel ve sürdürülebilir yöntemlerle üretilen kültür mantarlarına yönelik ödeme isteklilikleri analiz edilmiştir. Bu çalışma iki ana bölümden oluşmaktadır. Birinci ana

bölümde tüketicilerin geleneksel ve sürdürülebilir mantar tüketimini etkileyen faktörler incelenmiştir. İkinci ana bölümde ise konvansiyonel, organik ve iyi tarım uygulamaları olmak üzere üç farklı yetiştiricilik sisteminde üretilen mantarlar için tüketicilerin ödeme istekliliği ortaya konulmuştur.

2.MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmanın birincil verileri İzmir ilinin Bornova, Buca, Gaziemir, Karşıyaka ve Menemen ilçelerinde yaşayan tüketiciler ile yüz yüze gerçekleştirilen anketlerden elde edilmiştir. Newbold (1995)'un oransal örnek hacmi formülünün kullanıldığı bu çalışmada %95 güven aralığı, %10 hata payı ile örnek hacmi 97 olarak saptanmış, fakat bazı anketlerdeki verilerin eksik olması nedeniyle gerçekleştirilen analizler 84 anket üzerinden değerlendirilmiştir. Anket çalışması 2016 yılının Aralık ve 2017 yılının Ocak Şubat-Mart aylarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında esas olarak tüketicilerin sürdürülebilir ve konvansiyonel olarak üretilen kültür mantarlarına olan ödeme istekliliği araştırılmıştır. Bu çalışmada söz edilen sürdürülebilir yöntemlerle üretilen kültür mantarı kavramı, organik ve iyi tarım uygulamaları (İTU) ile üretilen sertifikalı yenilebilir kültür mantarını kapsamaktadır. İncelenen kültür mantarının türü pazarda yaygın olarak görülen *Agaricus bisporus* 'tur.

Ödeme istekliliğini hesaplamak için düzenlenen anket çalışmalarında tüketicilere şartlı değerlendirme yöntemleri arasında yer alan ne kadar ödemeye istekli oldukları (WTP) veya kabul edebilecekleri ödeme miktarının ne olduğu (WTA) sorulmakta, karşılığı olarak ve amaca yönelik veriler elde edilmektedir. Çalışmada fiyat tekliflerin hazırlanmasında ve modelin tahmininde Lopez-Feldman (2013), Wu vd., (2011) tarafında önerilen yöntem izlenmiştir. Yöntem belirli bir fiyat ya da ücret aralığında her anket için rastgele olarak sorulmakta ve bu fiyat düzeyleri için tepkileri ölçülmektedir.

İncelenen kültür mantarının 2017 yılında İzmir ilinde perakende fiyatları 2.75 ile 5.49 USD arasında değişiklik göstermektedir. Bu fiyat aralığı ödeme istekliliğini ölçmek için Excel paket programında 2.75 ile 5.49 USD arasında fiyat düzeyleri rastgele olarak her anket için ayrı ayrı türetilmiştir. Bu fiyat düzeyleri için tüketicilerin satın almak istedikleri mantar miktarları sorulmuştur. Genel olarak literatürde ödeme istekliliğinde, miktar olmaksızın, ürünün satın alınması veya tüketilmesi durumu logit veya probit model ile analiz edilmektedir (Noor vd. 2010). Ancak çalışmada tüketicilerin ne kadar tüketmek istedikleri de incelenmiştir. Tüketiciler bazı fiyatlar için mantar tüketmek istememektedir. Dolayısıyla bağımlı değişken olan satın alınan miktarda sıfır değeri gözlemlenmiştir. Bağımlı değişkenin sıfırdan büyük ve sürekli olduğu durumlarda Nobel ödüllü James Tobin (1973) tarafından geliştirilen Tobit model kullanılmaktadır (Gujarati, 2006).

Tobit model (Carson ve Sun, 2007) ;

$y = 0$ eğer $y^* \leq 0$ ise,

$y = y^*$ eğer $y^* > 0$ ise.

$y^* = \beta' xi + ui$ şeklinde ifade edilir. X bağımsız değişkenler vektörünü, β tahmin edilecek parametre vektörünü gösterir. Tobit model tahmin edildikten sonra fiyat değişkeni kullanılarak ödeme istekliliği hesaplanabilmektedir.

Ödeme İstekliliği (z_i, u_i) = $z_i\beta + e_i$

Burada z bağımsız değişkenler vektörünü, β ise tahmin edilecek parametreleri gösterir.

Konvansiyonel, organik ve iyi tarım sertifikalı kültür mantarı için kurulan tobit regresyon modellerine dahil edilen değişkenler ve açıklamaları ayrıntılı olarak Çizelge 1’de verilmiştir. Modellerdeki bağımlı değişken hane halkı başına talep edilen konvansiyonel/ organik/ iyi tarım sertifikalı mantar miktarını göstermektedir. Modellerdeki açıklayıcı değişkenler ise; yaş grubu, eğitim, cinsiyet, medeni durum, hane halkı büyüklüğü, satın alma sıklığı, fiyat ve satın alma yeri olarak belirtilebilir. Fiyat sertifikalı mantar için tüketicilerin ödemeye istekli olduğu fiyat tutarını belirlemek amacıyla ankete katılanlara sunulan farklı fiyat düzeylerini göstermektedir.

Çizelge 1. Tobit modelde kullanılan değişkenler ve açıklamaları

Konvansiyonel		Organik		İyi tarım	
Tüketim -Sürekli (kilogram), (Bağımlı Değişken)					
Değişken ismi	Açıklama	Değişken ismi	Açıklama	Değişken ismi	Açıklama
Yaş grubu (kesikli)	1:35 yaş altı (referans grup) 2:36-50 yaş arası 3:50 yaş üstü	Yaş grubu (kesikli)	1:35 yaş altı (referans grup) 2:36-50 yaş arası 3:50 yaş üstü	Yaş grubu (kesikli)	1:30 yaş altı 2:40 yaş altı 3:50 yaş altı 4:51 yaş ve üzeri
Eğitim	Sürekli (Yıl)	Eğitim grubu (kesikli)	1:lise ve altı (referans grup) 2:12 yıl üstü	Eğitim grubu (kesikli)	1:lise ve altı (referans grup) 2:12 yıl üstü
Cinsiyet (kesikli)	1: Erkek 0: Kadın	Cinsiyet (kesikli)	1: Erkek 0: Kadın	Cinsiyet (kesikli)	1: Erkek 0: Kadın
Medeni Durum (kesikli)	1: Evli 0: Diğer	Medeni Durum (kesikli)	1: Evli 0: Diğer	Medeni Durum (kesikli)	1: Evli 0: Diğer
Hane halkı grubu (kesikli)	1:1 kişilik aile (referans grup) 2:2 kişilik aile 3:3-4 kişilik aile 4:5 kişiden kalabalık aile	Hane halkı grubu (kesikli)	1:1 kişilik aile (referans grup) 2:2 kişilik aile 3:3-4 kişilik aile 4:5 kişiden kalabalık aile	Hane halkı büyüklüğü	Sürekli (kişi)
Satın alma sıklığı (cf)(kesikli)	1:Haftada bir kez 0:Daha seyrek	Satın alma sıklığı (cf)(kesikli)	1:Haftada bir kez 0:Daha seyrek	Satın alma sıklığı (cf)(kesikli)	1:Haftada bir kez 0:Daha seyrek
Fiyat	Sürekli (USD)	Fiyat	Sürekli (USD)	Fiyat	Sürekli (USD)
				Satın alma yeri (pp)(kesikli)	1: semt/üretici pazarı 0: Diğer

3.ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1.Tanımlayıcı istatistikler

Çizelge 2’de tobit modellerde kullanılan değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri gösterilmiştir. Hane halkı başına talep edilen ortalama mantar tüketim miktarı konvansiyonel üretimde 353 gram; organik sertifikalıda 749 gram ve iyi tarım sertifikalı da 0.603 gram’dır. Kibar (2015) tarafından Iğdır ilinde yapılan araştırmada kişi başına aylık ortalama mantar tüketimi 324.3 g olarak belirlenmiştir. Özçatalbaş (2012)’nin çalışmasında ise Türkiye’de kişi başı yıllık mantar tüketimi 900 gram, Kahramanmaraş ilinde yürütülen bir başka araştırmada ise aylık kişi başı mantar tüketimi 418 gram (Paksoy ve Aksüt, 2012), Uysal (2014)’ün araştırmasında ise kişi başı mantar tüketimi 560 gram olarak belirlenmiştir.

Fiyattaki değişimin farklı üretim uygulamalarıyla üretilen mantarların talebi üzerindeki etkisi model tahminlerinde gösterilmiştir. Mantar için teklif fiyatları 2.75 ile 5.49 USD / kg arasında değişmektedir. Ortalama 1 kg mantar fiyatı 3.948 USD olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Tobit model değişkenlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Değişken	Ort.	Std. sap.	Min.	Maks.
Konvansiyonel mantar				
tuketim	0.3530	0.6207	0.000	5.000
fiyat	3.948	1.015	2.750	5.490
ageg	1.917	0.7911	1.000	3.000
gender	0.3929	0.4891	0.000	1.000
education	12.32	4.218	5.000	22.000
marital	0.6667	0.4721	0.000	1.000
hhsizeg	2.762	0.7350	1.000	4.000
cf	0.2857	0.4524	0.000	1.000
Organik mantar				
tuketim	0.749	0.9824	0.000	6.000
fiyat	3.948	1.015	2.750	5.490
ageg	1.988	0.8249	1.000	3.000
gender	0.3929	0.4891	0.000	1.000
edug2	1.643	0.4799	1.000	2.000
marital	0.6667	0.4721	0.000	1.000
hhsizeg	2.762	0.7350	1.000	4.000
cf	0.286	0.4524	0.000	1.000
İyi tarım uygulamaları				
tuketim	0.603	0.8596	0.000	5.000
fiyat	3.948	1.015	2.750	5.490
ageg2	2.690	1.135	1.000	4.000
gender	0.393	0.4891	0.000	1.000
edug2	1.643	0.4799	1.000	2.000
marital	0.667	0.4721	0.000	1.000
hhsizeg	3.202	1.195	1.000	7.000
cf	0.286	0.4524	0.000	1.000
pp	0.810	0.3933	0.000	1.000

3.2. Tüketicilerin geleneksel ve sürdürülebilir mantar tüketimini etkileyen faktörler Tüketicilerin tobit modeline göre geleneksel mantar tüketimini etkileyen faktörler Çizelge 3'te verilmiştir. Ürün fiyatı, medeni durum, eğitim süresi, hane halkı büyüklüğü ve yaş ile geleneksel mantar tüketimi arasında anlamlı bir ilişki belirlenmiştir. Geleneksel mantar fiyatının bir birim artması öngörülen tüketim miktarını 0.708428 birim azaltmaktadır. Hane halkı grubunun bir birim artması tüketim miktarını 0.317312 birim, tüketicinin evli olması tüketimi 0.345420 birim, eğitim süresinin bir birim artması geleneksel mantar tüketimini 0.0525025 birim azalttığı belirlenmiştir. Uysal (2014) tarafından Antalya ilinde yürütülen tez çalışmasında da benzer sonuçlara ulaşılmıştır, hanedeki birey sayısı ile mantar tüketimi arasında doğrusal bir ilişki belirlenmiştir. Eğitim süresinin tüketimi azaltması bireylerin mantarın güvenilirliğinden emin olmadan tüketimden kaçınması olarak açıklanabilir. Yaşın artması da geleneksel mantar tüketimini pozitif yönlü etkilediği tespit edilmiştir. Yaş grubunun bir birim yükselmesi geleneksel mantar tüketimini 0.232766 birim arttırmaktadır. Davidson ve ark.

(2024) tarafından yapılan araştırmada yerel üretilmiş mantarlara olan ödeme istekliliğini yaşın pozitif yönlü etkilediğini sonucuna ulaşılmıştır. Boin and Nunes (2018) tarafından Portekiz’de yapılan araştırmada da eğitim düzeyi, cinsiyet ve yaşın kültür mantarı tüketiminde etkili olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 3. Geleneksel mantar tüketimini etkileyen faktörlerin tobit modeli ile belirlenmesi

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>Z</i>	<i>p-value</i>	
const	3.54554	0.663153	5.346	<0.0001	***
fıyat	-0.708428	0.0975126	-7.265	<0.0001	***
gender	-0.0447644	0.189968	-0.2356	0.8137	
marital	-0.345420	0.205076	-1.684	0.0921	*
education	-0.0525025	0.0229756	-2.285	0.0223	**
cf	0.177479	0.210896	0.8416	0.4000	
hhsizeg	-0.317312	0.115916	-2.737	0.0062	***
ageg	0.232766	0.120397	1.933	0.0532	*
Chi-square(7)	64.50563		p-value	1.89e-11	
Log-likelihood	-286.4029		Akaike criterion	590.8058	
Schwarz criterion	625.1598		Hannan-Quinn	604.5003	

*p<0.10 düzeyinde; **p<0.05 düzeyinde; ***p<0.01 düzeyinde istatistiki olarak anlamlıdır.

Tüketicilerin tobit modeline göre organik mantar tüketimini etkileyen faktörler Çizelge 4’de verilmiştir. Eğitim grubu ve satın alma sıklığı ile organik sertifikalı mantar tüketimi arasında pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki belirlenmiştir. Organik mantar fiyatının bir birim artması öngörülen tüketim miktarını 0.700043 birim azaltmaktadır. Organik mantar tüketiminde eğitim düzeyinin bir birim artması tüketim miktarını 0.330221 birim, haftada bir kez ve daha fazla mantar satın almanın öngörülen tüketimde 0.473086 birimlik artışa neden olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4. Organik mantar tüketimini etkileyen faktörlerin tobit modeli ile belirlenmesi

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>Z</i>	<i>p-value</i>	
const	2.64689	0.650025	4.072	<0.0001	***
fıyat	-0.700043	0.0868902	-8.057	<0.0001	***
gender	-0.0889318	0.191711	-0.4639	0.6427	
marital	-0.158954	0.203326	-0.7818	0.4343	
edug2	0.330221	0.198073	1.667	0.0955	*
hhsizeg	-0.115714	0.113074	-1.023	0.3061	
cf	0.473086	0.214885	2.202	0.0277	**
ageg	0.0752126	0.115085	0.6535	0.5134	
Chi-square(7)	72.44594		p-value	4.73e-13	
Log-likelihood	-424.9212		Akaike criterion	867.8425	
Schwarz criterion	902.1965		Hannan-Quinn	881.5369	

*p<0.10 düzeyinde; **p<0.05 düzeyinde; ***p<0.01 düzeyinde istatistiki olarak anlamlıdır.

Tüketicilerin iyi tarım sertifikalı kültür mantarını tüketimin etkileyen faktörleri belirlemek için kurulan tobit model sonuçları Çizelge 5’de verilmiştir. Ürün fiyatı, tüketicinin eğitim düzeyi, satın alma sıklığı ve hane halkı büyüklüğünün tüketicilerin iyi tarım sertifikalı kültür mantarı tüketimini etkilediği belirlenmiştir. Eğitim düzeyi ve satın alma sıklığı tüketicilerin tüketim

skorunu artırmaktadır. Eğitim grubundaki bir birimlik artış tüketimi 0.386067 birim, haftada bir kez ve daha fazla satın alma 0.361740 birim artışa neden olmaktadır. Ürün fiyatındaki bir birimlik artış iyi tarım sertifikalı mantar tüketimini 0.769921 birim, hane halkına bir kişinin eklenmesi 0.0865835 birim azaltmaktadır.

Çizelge 5. İyi tarım uygulamalı sertifikalı mantar tüketimini etkileyen faktörlerin tobit modeli ile belirlenmesi

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>Z</i>	<i>p-value</i>	
const	2.83543	0.634554	4.468	<0.0001	***
fiyat	-0.769921	0.0918092	-8.386	<0.0001	***
gender	0.181673	0.186358	0.9749	0.3296	
marital	-0.254516	0.206263	-1.234	0.2172	
edug2	0.386067	0.199413	1.936	0.0529	*
cf	0.361740	0.214130	1.689	0.0912	*
pp	0.168516	0.215582	0.7817	0.4344	
hhsiz	-0.115962	0.0689949	-1.681	0.0928	*
ageg2	-0.0865835	0.0833875	-1.038	0.2991	
Chi-square(8)	79.27944		p-value	6.83e-14	
Log-likelihood	-374.7752		Akaike criterion	769.5504	
Schwarz criterion	807.7216		Hannan-Quinn	784.7665	

*p<0.10 düzeyinde; ***p<0.01 düzeyinde istatistiki olarak anlamlıdır.

3.3.Farklı koşullarda üretilen mantarlar için tüketicilerin ödeme istekliliğinin belirlenmesi

Tobit modelde anlamlı olan değişkenler için ödeme istekliliği (WTP) hesaplanmaktadır. Farklı üretim koşullarında üretilen mantarlar için tüketicilerin ödeme istekliliği hesaplanmıştır. Modelde kullanılan değişkenlerin, ödeme istekliliğine etkisi incelendiğinde, 1 kg konvansiyonel mantar için ödeme istekliliğini medeni durumun, eğitim düzeyinin ve hane halkı genişliğinin azalttığı görülmüştür. Ayrıca, yaşın artmasının daha fazla ödeme istekliliğinde olduğu belirlenmiştir. Söz konusu değişkenlerin ödeme istekliliği üzerindeki etkisi incelendiğinde; tüketicinin evli olmasının 0.48 USD, eğitim süresinin artmasının 0.07 USD ve hanedeki ilave birey sayısının 0.44 USD ödeme istekliliğini düşürdüğü belirlenmiştir. Yaşın ise geleneksel kültür mantarında ödeme istekliliğini 0.32 USD arttırdığı hesaplanmıştır. Diğer bir ifade ile geleneksel kültür mantarına daha yaşlı bireylerin ekstra ödeme yapmak için istekli oldukları yönünde bir sonuç çıkmıştır. Diğer sonuçlarla birleştirildiğinde; bekâr, düşük eğitime sahip, küçük hanelerin ve yaşlı bireylerin geleneksel kültür mantarına daha çok ödeme yapabilecekleri ortaya konulmuştur. Mantarın kolay ve hızlı pişirilebilen bir gıda olmasının böyle bir tüketici profilinin ortaya çıkmasında etkili olduğu değerlendirilmektedir.

Çizelge 6. Geleneksel mantar tüketiminde ödeme istekliliğinin belirlenmesi

	marital	education	hhsiz	Ageg
Ödeme istekliliği (WTP)	-0.48759	-0.07411	-0.44791	0.328567
Alt aralık	-1.05853	-0.13932	-0.78237	-0.00838
Üst aralık	0.083354	-0.0089	-0.11345	0.665518

Tobit modelinde kullanılan değişkenlerin, ödeme istekliliğine etkisi incelendiğinde; 1 kg organik mantar için ödeme istekliliğine eğitim düzeyinin ve satın alma sıklığının ödeme istekliliğini arttırdığı görülmüştür. Söz konusu değişkenlerin ödeme istekliliği üzerindeki etkisi incelendiğinde; tüketicilerin lise üstü bir eğitime sahip olmasının 0.48 USD ve haftada bir kereden fazla satın alma sıklığının 0.67 USD ödeme istekliliğini arttırdığı saptanmıştır (Çizelge 7).

Çizelge 7. Organik mantar tüketiminde ödeme istekliliğinin belirlenmesi

Tüketim	edug2	cf
Ödeme İstekliliği	0.4717159	0.67579655
Alt aralık	-0.09115372	0.05665923
Üst aralık	1.0345855	1.2949339

Modelde kullanılan değişkenlerin, iyi tarım uygulamaları ile üretilen sertifikalı kültür mantarı için ödeme istekliliğine etkisi incelendiğinde; eğitim düzeyinin ve satın alma sıklığının 1 kg iyi tarım sertifikalı kültür mantar için ödeme istekliliğini arttırdığı görülmüştür. Diğer yandan, hane büyüklüğünün artmasının ödeme istekliliğinin azalmasına neden olduğu belirlenmiştir. Söz konusu değişkenlerin ödeme istekliliği üzerindeki etkisi incelendiğinde; 12 yıl eğitime sahip tüketicilerin 0.50 USD ve haftada bir kereden fazla satın alma sıklığının 0.47 USD ödeme istekliliğini arttırdığı belirlenmiştir. Hane büyüklüğünün ise iyi tarım sertifikalı kültür mantarında ödeme istekliliğini 0.15 USD azalttığı hesaplanmıştır. Diğer bir ifade ile iyi tarım sertifikalı kültür mantarına organik tarımdan farklı olarak daha küçük ailelerin ekstra ödeme yapmak için istekli oldukları yönünde bir sonuç çıkmıştır (Çizelge 8).

Çizelge 8. İyi tarım sertifikalı mantar tüketiminde ödeme istekliliğinin belirlenmesi

Tüketim	edug2	cf	hssize
Ödeme İstekliliği	.50143697	.46984005	-.15061556
Alt aralık	-.01436169	-.08277226	-0.32824656
Üst aralık	1.0172356	1.0224524	0.02701545

Genel olarak değerlendirildiğinde 1 kg farklı üretim şekillerine göre üretilen mantarlara olan ödeme istekliliği organik üretimde 4.74 USD, iyi tarım sertifikalı ürünlerde 4.16 USD ve konvansiyonel ürünlerde 3.16 USD hesaplanmıştır. Chakrabarti ve ark. (2019) tarafından yapılan bir araştırmanın bulguları da bu sonucu desteklemektedir. Nitekim, ilgili araştırma sonucunda “Etiketleme Odaklı Grup” olarak tanımlanan tüketicilerin “organik” etiketi bulunan mantarlar için daha fazla ödeme yapmaya istekli olduğu saptanmıştır. Söz konusu araştırmanın bulgularında bu tüketici grubunun 8 oz. (226.8 gr) ağırlığındaki “organik” etiketli mantarlar için 1.40 USD daha fazla ödemeye istekli olduğu belirtilmektedir. Meixner ve ark. (2024) ise Avusturya’da yürüttükleri araştırmalarından, bitki bazlı et alternatiflerine (PBMA'lar) yönelik tüketici davranışlarını ve ödeme istekliliğini (WTP), vegan hamburger köftesi örneği ile incelemeyi amaçlamışlardır. Söz konusu çalışmada PBMA özelliklerinin Gen Z olarak bilinen Z Kuşağı için önemi değerlendirilmiş ve Z Kuşağının belirli PBMA özellik seviyeleri için ödeme istekliliği tahmin edilmiştir. Çalışmadaki bulgulara göre; Z Kuşağı, yerli ve AB kaynaklı ürünleri olumlu bir şekilde değerlendirmekte, üçüncü ülke ithalatına karşı olumsuz bir tutum

sergilemekte ve organik üretimi pozitif bir yarar değeriyle ilişkilendirmektedir. Çalışmada uygulanan Seçim Tabanlı Konjoint Analizi sonuçlarına göre, genç tüketicileri temsil eden Z kuşağı tüketicilerinin vegan hamburger köftesi içinde bitki bazlı et alternatifleri içinde mantara 0.30 EUR, organik üretim metoduna 0.39 EUR, menşe ülkesinin Avusturya olmasına 2.28 EUR ve ürünün yağ içeriğinin %15 olmasına 0.18 EUR daha fazla ödeme yapmaya istekli olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 9. Farklı üretim koşullarında üretilen mantarların ödeme istekliliğinin karşılaştırılması

Tüketim	Katsayı	Std.Hata	Z	P> Z	%95 güven aralığı	
İTU ödeme istekliliği	4.158	0.352	11.800	0.000	3.468	4.849
Organik ödeme istekliliği	4.749	0.542	8.750	0.000	3.686	5.812
Konvansiyonel ödeme istekliliği	3.159	0.203	15.550	0.000	2.761	3.557

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma sonucunda tüketicilerin sürdürülebilir üretimle üretilmiş kültür mantarlarına daha yüksek ödeme yapmaya istekli oldukları, özellikle organik mantarlar için ödeme istekliliğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Geleneksel yöntemlerle üretilen mantar fiyatına ödeme istekliliğinin 3.16 USD olduğu göz önüne alındığında, tüketicilerin iyi tarım sertifikalı kültür mantarına yaklaşık %32 ve organik sertifikalı kültür mantarına %50 daha fazla ödemeye istekli oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen bu bulgular tüketicilerin sağlıklı beslenmeye önem verdiğini ortaya koymakta ve uygun koşulların oluşması durumunda sürdürülebilir kültür mantarına olan taleplerinin artabileceğini göstermektedir.

Tüketicilerin sürdürülebilir yöntemler ile üretilen kültür mantarına geleneksel yöntemler ile üretilenlere göre daha yüksek ödeme istekliliği içinde olması sürdürülebilir mantar tüketiminin artması için bir fırsat olarak görülebilir. Bununla birlikte, Türkiye’de sürdürülebilirlik etiketi altında satılan kültür mantarının pazarda arzının az olduğu, tüm dağıtım noktalarında bulunmadığı, bu nedenle tüketicilerin bu tür ürünlere erişiminin kısıtlı olduğu görülmektedir. Bu durum tüketicilerin sürdürülebilir etiketli kültür mantarına olan yüksek ödeme istekliliği ile bir paradoks oluşturmaktadır. Bu kapsamda tüketicilerin sağlıklı beslenmeye olan artan ilgisini dikkate alarak ve sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu olarak Türkiye’deki kültür mantarı arz zincirinde yer alan üreticilerin ve firmaların sürdürülebilirlik sertifikaları ile pazara ürün arz etmeleri ve sertifikalı ürünlerin beslenme ve çevresel faydaları konusunda tüketicilerde farkındalık yaratılmasına yönelik programlara ihtiyaç bulunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Barros, L., Baptista, P., Correia, D. M., Casal, S., Oliveira, B., Ferreira, I. C. Fatty Acid and Sugar Compositions, and Nutritional Value of Five Wild Edible Mushrooms From Northeast Portugal, Food Chemistry, 105, 1, 2007.
- Boin, E.; Nunes, J. Mushroom Consumption Behavior and Influencing Factors in a Sample of the Portuguese Population. J. Int. Food Agribus. Mark. 30, 2018.
- Carson, R.T., Sun, Y. The Tobit Model With A Non-Zero Threshold. The Econometrics Journal, 10, 3, 2007.

- Chakrabarti, A., Campbell, B. L., Shonkwiler, V. Eliciting Consumer Preference and Willingness to Pay for Mushrooms: A Latent Class Approach. *Journal of Food Distribution Research*, 50, 1, 2019.
- Chang, S. The World Mushroom Industry: Trends and Technological Development. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 8, 4, 2006.
- Cosky, T. *Mushroom Sustainability: Cultivation, Benefits and Market Growth*, <https://www.funguygrowsupply.com/> (Erişim: 30.12.2024).
- Davidson, K. A., Khanal, B., Messer, K. D. Are Consumers No Longer Willing to Pay More for Local Foods? A Field Experiments. *Agricultural and Resource Economics Review*, 53, 2024.
- El-Ramady, H., Abdalla, N., Badgar, K., Llanaj, X., Törös, G., Hajdú, P., Eid, Y., Prokisch, J. Edible Mushrooms for Sustainable and Healthy Human Food: Nutritional and Medicinal Attributes. *Sustainability*, 14, 9, 2022.
- Gujarati, D.N., *Basic Econometrics*, McGraw-Hill, 2006.
- Gürgen, A., Yıldız, S., Yıldız, Ü. C. Determination of Mushroom Consumption Preferences by Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Eurasian Journal of Forest Science*, 6, 3, 2018.
- Heleno, S. A., Ferreira, R. C., Antonio, A. L., Queiroz, M. J. R., Barros, L., Ferreira, I. C.. Nutritional Value, Bioactive Compounds and Antioxidant Properties of Three Edible Mushrooms From Poland. *Food Bioscience*, 11, 2015.
- Jayaraman, S., Yadav, B., Dalal, R.C., Naorem, A., Sinha, N.K., Srinivasa Rao, Ch., Dang, Y.P., Patra, A.K., Datta, S.P., Subba Rao, A. Mushroom Farming: A Review Focusing on Soil Health, Nutritional Security and Environmental Sustainability. *Farming System*, 2, 3, 2024.
- Jiang, C., Duan, X., Lin, L., Wu, W., Li, X., Zeng, Z., Luo, Q., Liu, Y. A Review on The Edible Mushroom as a Source of Special Flavor: Flavor Categories, Influencing Factors, and Challenges. *Food Frontiers*, 4, 2023.
- Karahan, H., Başdar, C., Gürbüz, İ.B. *Doğada Kendiliğinden Yetişen Mantarların Aile İçi Öztüketimdeki Yerinin Saptanması ve Gelir Arttırmadaki Rolü*, XI. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, Samsun, 2014.
- Kibar, B. İğdir İli Mantar Tüketim Alışkanlıklarının Belirlenmesi, İğdir Üni. Fen Bilimleri Enst. Der., 5, 4, 2015.
- Linde, G. A., Nunes, T. A. R., Raimundo, J. R., Domingues, G., Figueiredo, E., Santin, K., ... Colauto, N. B. *Mushroom Acceptability and Consumption Intention for the Main Mushrooms Produced in Brazil*. Proceedings of the 8th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products: Directorate of Mushroom Research Solan and Mushroom Society of India, 627–632, 2014.
- Lopez-Feldman, A. Introduction to Contingent Valuation Using Stata, MPRA Paper No. 41018, University Library of Munich, Germany, 2012.
- Mahantesh, S., Ahlawat, O. P., Manikandan, K. Mushroom Consumption and Purchasing Behaviour in India: A Study Among Selected Respondents. *Mushroom Research*, 23, 2, 2014.

- Mayett, Y., Martínez-Carrera, D., Sinchez, M., Macías, A., Moraaf, S., Estrada-Torres, A. Consumption Trends of Edible Mushrooms in Developing Countries: The Case of Mexico. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*, 18, 1–2, 2006.
- Meixner, O., Malleier, M., Haas, R. Towards Sustainable Eating Habits of Generation Z: Perception of and Willingness to Pay for Plant-Based Meat Alternatives, *Sustainability*, 16, 8, 2024.
- Newbold, P. *Statistics for Business and Economics*, Prentice-Hall International, New Jersey, 1995.
- Noor, J., Siddiqi, W., Muhammad, T. Estimation of Willingness to Pay for Improvements in Drinking Water Quality in Lahore: A Case Study of WASA, Lahore, MPRA Paper No. 53763, 2010.
- Ouzouni, P. K., Petridis, D., Koller, W. D., Riganakos, K. A. Nutritional Value and Metal Content of Wild Edible Mushrooms Collected from West Macedonia and Epirus, Greece. *Food Chemistry*, 115, 4, 2009.
- Özçatalbaş, O., *Kültür Mantarı Üretim Sektörü ve Korkuteli Üzerine Bir Değerlendirme*, Antalya Ticaret Borsası Borsanomi Dergisi, 2012.
- Paksoy, M., Aksüt, M. *Mantar Tüketimi ve Tüketim Alışkanlıklarının Belirlenmesi: Kahramanmaraş İli Örneği*, IX. Türkiye Yemeklik Mantar Kongresi, 173-183, Denizli, 2012.
- Patterson, P. M. *Mushroom Buyers: A Segmentation Analysis Report For Mushroom Council*, Arizona State University, 2003.
- Tobin, J. Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables. *Econometrica*, 26, 1, 1958.
- Uysal, E. *Türkiye’de Mantar Piyasası ve Hane halkı Mantar Tüketim Davranışları (Antalya İli Kentsel Alan Örneği)*. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat, 2014.
- Wu, T., Kim, Y.S., Hurteau, M.D. Investing in Natural Capital: Using Economic Incentives to Overcome Barriers to Forest Restoration. *Restoration Ecology*, 19, 4, 2011.
- Yılmaz, A., Yıldız, S., Yıldırım, İ., Aydın, A. Trabzon’da Mantar Tüketimi ve Tüketim Alışkanlıklarının Belirlenmesi, *Mantar Dergisi*, 7, 2, 2016.

LABORATUVAR TEKNOLOJİSİ PROGRAMI ÖĞRENCİLERİNE TIBBİ BİYOKİMYA CİHAZLARI İLE İLGİLİ UYGULAMALI EĞİTİMİ

Dr. Öğr. Üyesi Melek GÖKMEN KARAKAYA

Uşak Üniversitesi

melek.karakaya@usak.edu.tr - 0000-0001-7178-6790

ÖZET

Hastanelerde biyokimya testleri, vücuttaki kimyasal süreçleri inceleyerek sağlık durumunu değerlendirmek amacıyla yapılır. Bu testler, kan, idrar ve diğer biyolojik örneklerden elde edilen verilerle organ fonksiyonları, metabolik durum, hastalıkların tanısı ve tedavi sürecinin izlenmesi hakkında değerli bilgiler sunar. Biyokimya laboratuvarı test sonuçları, hastaların doğru tanı alması, tedavi süreçlerinin yönlendirilmesi ve tedaviye verilen yanıtların izlenmesi açısından kritik bir rol oynar. Bu testler, vücutta gerçekleşen biyokimyasal olayları yansıtarak doktorların hastalıkları daha doğru ve etkin bir şekilde teşhis etmelerine yardımcı olur. Aynı zamanda, bireylerin sağlık durumunu doğru bir biçimde değerlendirmeye, hastalıkları erken dönemde tanımlamaya, tedavi sürecini izlemeye ve olası sağlık risklerini yönetmeye olanak tanır. Bu çalışmada, Uşak Üniversitesi Banaz Meslek Yüksekokulu Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü Laboratuvar Teknolojisi Programı öğrencilerine, Banaz Devlet Hastanesi'nde Tıbbi Biyokimya alanında uzman doktor tarafından biyokimya laboratuvarındaki cihazlar ve bu cihazların kullanımı hakkında uygulamalı eğitim verilmiştir. Eğitim, otomatik pipet (pipetleme), ABL80 FLEX CO-OX analiz cihazı, Nüve santrifüj cihazı, Swelab Alfa hematoloji analizörü, Qtest-500B idrar analiz cihazı, ARCHITECH c8000 klinik biyokimya analiz cihazı ve mikroskop gibi cihazların kullanımı ve bu cihazlarla yapılan analizler üzerine odaklanmıştır. Eğitim sonrasında, katılımcı öğrencilerimize, kurumumuzun kalite yönetim sistemi çerçevesinde etkinlik değerlendirme anketi uygulanmıştır. Öğrenciler, etkinliğin amacına ulaştığını, yapılan çalışmanın kariyerleri için önemli olduğunu, verilen sürenin yeterli olduğunu ve benzer etkinliklerin daha fazla düzenlenmesi istediklerini ifade etmişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Tıbbi biyokimya, biyokimya testleri, laboratuvar teknolojisi programı, biyokimya cihazları, uygulamalı eğitim.

PRACTICAL TRAINING OF LABORATORY TECHNOLOGY PROGRAM STUDENTS ON MEDICAL BIOCHEMISTRY DEVICES

ABSTRACT

Biochemistry tests in hospitals are performed to evaluate health status by examining the chemical processes in the body. These tests provide valuable information about organ functions, metabolic status, disease diagnosis, and the monitoring of treatment processes using data obtained from blood, urine, and other biological samples. Biochemistry laboratory test results play a critical role in ensuring that patients receive accurate diagnoses, guiding treatment processes, and tracking responses to treatment. These tests help doctors diagnose diseases more accurately and effectively by reflecting the biochemical events occurring in the body. They also enable the accurate assessment of an individual's health status, early detection of diseases, monitoring of the treatment process, and management of potential health risks. In this study, students from the Laboratory Technology Program of the Department of Chemistry and Chemical Processing Technologies at Uşak University's Banaz Vocational School were provided with practical training on biochemistry laboratory devices and their use by a specialist doctor in the field of Medical Biochemistry at Banaz State Hospital. The training focused on the use of various devices, including the automatic pipette (pipetting), ABL80 FLEX CO-OX analyzer, Nüve centrifuge, Swelab Alfa hematology analyzer, Qtest-500B urine analyzer, ARCHITECH c8000 clinical biochemistry analyzer, and the microscope, as well as the analyses conducted with these devices. After the training, a participant evaluation survey was conducted within the framework of our institution's quality management system. The students expressed that the event achieved its objectives, the work was important for their careers, the duration of the training was adequate, and they would like to see more such events organized in the future.

Keywords: Medical biochemistry, biochemistry tests, laboratory technology program, biochemistry devices, practical training.

1. INTRODUCTION

Biochemistry tests allow for the early detection of diseases by monitoring chemical changes in the body. For example, tests such as blood sugar, cholesterol, kidney function, and liver enzymes can identify conditions such as diabetes, kidney diseases, and liver disorders at an early stage. Some tests measure specific biochemical indicators to identify certain diseases. For example, a troponin test in a patient suspected of having a heart attack indicates heart muscle

damage (Andersson et al., 2015). It can measure blood levels of drugs used during treatment. This ensures that the drugs are administered at the correct dose (Finotti Cordeiro et al., 2024). Biochemistry tests can be used to monitor the response to treatment, for example, in cancer treatment, monitoring tumour markers after chemotherapy evaluates the effectiveness of the treatment (Zhang et al., 2022). It is widely used to monitor body functions (monitoring the functions of the liver, kidney, heart, and other organs). Creatinine and urea tests are performed to measure kidney function (Akoğlu and Altun, 2007), and ALT, AST and bilirubin tests are performed to monitor liver function (Pollock et al., 2012; Suh et al., 2018). Hormone levels are measured with biochemistry tests and provide information on many issues such as metabolism, reproductive health and thyroid (SoRelle et al., 2019; Minhas et. Al., 2021; Barón-Mendoza et al., 2024). For example, thyroid tests (TSH, T3, T4) are used to detect thyroid diseases (Kim et al., 2018). Cholesterol, triglyceride and lipid tests provide important information about the risk of heart disease (Wilkins et al., 2014; Blesso and Fernandez, 2018). These tests help to take early preventive measures by determining people's predisposition to heart disease. Sugar, electrolytes and other biochemical parameters are used to determine the risk of diseases such as diabetes, obesity and metabolic syndrome (Sharma et al., 2017; Wojcik et al., 2020; Chen et al., 2020; Woyesa, Gebisa and Anshebo, 2019). Biochemical tests performed rapidly in emergency situations allow the determination of vital conditions. Electrolyte imbalance, pH disorders, infections and metabolic disorders may require urgent intervention (Jones, 2024; Yilmaz and Tatliparmak, 2024; Whitmore and Gunnerson, 2020; Sasaki et al., 2020). In individuals with chronic diseases (e.g. diabetes, hypertension), biochemical tests monitor the course of the disease and show how the response to treatment is given and which treatment strategies are more effective. Inflammatory markers (e.g. CRP, ESR) and infection markers are used to monitor infections and inflammation in the body (Lapić et al., 2020; Tsao et al., 2020). Biochemical tests can also be helpful in determining genetic diseases, metabolic diseases, and general health status of individuals. For example, phenylketonuria test is a genetic test performed on newborns (van Spronsen et al., 2021; Mohammadzadeh et al., 2024).

Biochemistry test results are very important. The training of analysts and assistant analysts who will perform these tests is equally important. The subject of this study is the practical device training received by the Laboratory Technology Program students in the Biochemistry Laboratory of the Banaz State Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Turkey.

2. APPLIED DEVICE TRAINING IN MEDICAL BIOCHEMISTRY LABORATORY

2.1. Automatic Pipette (Pipetting)

Automatic pipettes are used in biochemistry laboratories to take liquid samples and measure them accurately. Pipettes help to precisely take the volume of liquids and transfer them to other tubes. Automatic pipettes are faster, more accurate and more reliable than manual pipetting. This device provides great convenience in preparing test samples and delivering the right amount of liquid sample to biochemistry analysers. Students were

given detailed information about pipetting (Figure 1).



Figure 1. Pipetting training of students

2.2. ARCHITECH c8000 Clinical Biochemistry Analyzer

ARCHITECH c8000 is one of the basic instruments in biochemistry laboratories and allows a large number of tests to be performed quickly and efficiently. It measures biochemical parameters in blood and other biological samples (e.g. glucose, cholesterol, triglycerides, liver enzymes, electrolytes and other biomarkers). ARCHITECH c8000 produces test results with high precision, which provide information about the diagnosis of diseases, monitoring of the treatment process and the health status of patients. Students were given detailed information about the automatic sampling of this device (Figure 2), the display of the results on the screen and the cleaning of the device, and they observed all these stages while the device was open.



Figure 2. ARCHITECH c8000 device training

2.3. Qtest-500B Urine Analyzer

Qtest-500B is a urine analyzer and measures the chemical components of urine, pH level, protein, glucose, urobilinogen, leukocytes, blood and other components. This device is used in the diagnosis of diseases such as urinary tract infections, kidney diseases, metabolic disorders and diabetes. Urine tests are an important part of biochemical analysis and provide important data about the general health status of patients. Regarding the device, our students were informed that it works with the dual wavelength reflectance method, can analyze 520 samples per hour with urine strips, and can analyze blood, pH, leukocytes, bilirubin, ketone, nitrite,



Figure 3. Qtest-500B Urine Analyzer Training

urobilinogen, protein, glucose and specific gravity parameters in urine. One of our students was given the opportunity to do a trial test under the supervision of a specialist doctor (Figure 3).

2.4. Swelab Alfa Hematology Analyzer

Students were informed as follows. Swelab Alfa is an analyzer used for blood counts. The hematology analyzer counts cellular components (red blood cells, white blood cells, platelets) from blood samples and measures the characteristics of these cells (e.g. size, shape, and numerical density). This device helps in the diagnosis of anemia, infections, bleeding disorders, and other blood diseases. Hematological parameters are part of biochemical tests and provide important information about the general health status of the patient. With the Swelab Alfa hematology analyzer, information

about complete blood count analysis can be given in about a minute with just a finger prick.



Figure 4. Swelab Alfa, Hematology Analyzer Training

2.5. ABL80 FLEX CO-OX Analyzer Training

This device is used to measure blood gases, electrolytes and oxygen carrying capacity. The ABL80 FLEX CO-OX device is especially important for critical situations in intensive care units or emergency rooms. The metabolic status of patients is quickly assessed by measuring pH, carbon dioxide (CO₂), oxygen (O₂), bicarbonate, electrolyte levels and other parameters from blood samples. This device can also measure carbon monoxide (CO) and methemoglobin levels. Theoretical information was conveyed to our students in the form.

2.6. Nüve Centrifuge Device Training

Centrifuges are used to separate blood, urine, serum, plasma and other biological samples into their liquid and solid components. The Nuve Centrifuge spins these samples at high speed, separating the blood cells (e.g. red blood cells, leukocytes) from the liquid part (plasma or serum). This process purifies the samples for biochemistry tests and is necessary for accurate analysis. It is also used in urine analysis. After the theoretical information given to our students by the Authorized Specialist Doctor at the device, information was given about the operation of the device and safety precautions (Figure. 6).



Figure 6. Nüve Centrifuge Device Training

2.7. Microscope Device Training

The microscope is used in biochemistry laboratories to perform cellular level analyses. The examination of cells in blood, urine or other biological samples is done with a microscope. In addition to hematological tests, microscopes are also used in other biochemical analyses that require microscopic examination. For example, crystal and cellular analyses can be performed in urine. The microscope is an important tool for increasing the accuracy of biochemistry tests and performing additional visual analyses. After being informed by the Specialist Doctor, our students were allowed to see the erythrocytes in the device.

3. RELATIONSHIP OF BIOCHEMISTRY TESTS WITH SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

Reliable, fast and low-cost test results produced with devices in biochemistry laboratories strengthen health systems by enabling early diagnosis and correct treatment of diseases and help people live a healthy life. It is directly related to Turkey's Sustainable Development Goals (TSKA) 3 Good Health and Well-Being. It can provide access to health services to wider audiences. It can reduce health inequalities by increasing access to health services, especially in low-income regions. It is directly related to TSKA 10 Reduced Inequalities and TSKA 16 Peace, Justice and Strong Institutions. It is directly related to TSKA 8 Decent Work and Economic Growth, as patients are provided with more accurate and reliable test results.

Research in the fields of biochemistry, hematology and clinical laboratories supports scientific progress, which contributes to the development of new treatment methods. Education provides students with scientific skills, which helps increase the qualified workforce in the health sector and related fields.

4. RESULTS AND EVALUATION

Our Laboratory Technology Program students were given practical device training by a Medical Biochemistry Specialist Doctor in the Banaz State Hospital Biochemistry Laboratory. After the training, an activity evaluation survey was applied to our participating students within the framework of our institution's quality management system. The students stated that the activity achieved its purpose, that the work done was important for their careers, that the time given was sufficient, and that they wanted similar activities to be organized more.



Figure 7. Evaluation of Analysis Results Produced in the Laboratory

5. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

These devices used in biochemistry laboratories directly contribute to sustainable development goals such as health, accessibility, environment, education and economic development. In the context of human rights, these devices can have a positive impact in terms of environmental sustainability while ensuring that people have fair and equal access to health services. They

also contribute to the economic development of societies by increasing efficiency in the health sector.



Figure 8. Applied Training Team

It is critical that laboratory technology program students receive training on clinical biochemistry devices, not only for their own career development, but also to protect patients' rights to health, ensure the efficient operation of the health system, and contribute to sustainable health services. Educated students can obtain more accurate, reliable, and efficient results with modern biochemistry devices, which in turn improves the quality of overall health services.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank Banaz State Hospital, Specialist Dr. Nesibe Esra YAŞAR in the field of Medical Biochemistry, Education Nurse Damlanur CERİTLİOĞLU and Banaz Vocational School Directorate.

REFERENCES

- Akoğlu, H., Altun, B. (2007). Böbrek Hastalıklarında Tarama Testleri. *Türkiye Klinikleri Journal of Internal Medical Sciences*, 3(38), 8-18.
- Andersson, P. O., Karlsson, J. E., Landberg, E., Festin, K., & Nilsson, S. (2015). Consequences of high-sensitivity troponin T testing applied in a primary care population with chest pain compared with a commercially available point-of-care troponin T analysis: an observational prospective study. *BMC research notes*, 8, 1-9.
- Barón-Mendoza, I., Martínez-Marcial, M., García-Juárez, M., Mejía-Hernández, M., Cortés-Sánchez, Y., Zamora-Sánchez, C. J., ... & González-Arenas, A. (2024). Disruptions in reproductive health, sex hormonal profiles, and hypothalamic hormone receptors content in females of the C58/J mouse model of autism. *Hormones and Behavior*, 164, 105593.
- Blesso, C. N., & Fernandez, M. L. (2018). Dietary cholesterol, serum lipids, and heart disease: are eggs working for or against you?. *Nutrients*, 10(4), 426.

Chen, L., Shi, L., Chao, M. S., Tong, X., & Wang, F. (2020). Stressful life events, hypertensive disorders, and high blood sugar during pre.

Finotti Cordeiro, C., Lopardi Franco, L., Teixeira Carvalho, D., & Bonfilio, R. (2024). Impurities in Active Pharmaceutical Ingredients and Drug Products: A Critical Review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 1-21.

Jones, N. P. (2024). Fluid, Electrolyte Balance and Associated Disorders. *Fundamentals of Applied Pathophysiology for Paramedics*, 332-354.

Kim, H. I., Jang, H. W., Ahn, H. S., Ahn, S., Park, S. Y., Oh, Y. L., ... & Kim, S. W. (2018). High serum TSH level is associated with progression of papillary thyroid microcarcinoma during active surveillance. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 103(2), 446-451.

Lapić, I., Padoan, A., Bozzato, D., & Plebani, M. (2020). Erythrocyte sedimentation rate and C-reactive protein in acute inflammation: meta-analysis of diagnostic accuracy studies. *American journal of clinical pathology*, 153(1), 14-29.

Minhas, S., Bettocchi, C., Boeri, L., Capogrosso, P., Carvalho, J., Cilesiz, N. C., ... & Salonia, A. (2021). European association of urology guidelines on male sexual and reproductive health: 2021 update on male infertility. *European urology*, 80(5), 603-620.

Mohammadzadeh, Z., Sharifi, L., Fatholahpour, A., & Bazshahi, E. (2024). The investigation of serum phenylalanine levels based on infant feeding method: a cross-sectional study of children less than two years old with phenylketonuria (PKU). *International Breastfeeding Journal*, 19(1), 12.

Pollock, N. R., Rolland, J. P., Kumar, S., Beattie, P. D., Jain, S., Noubary, F., ... & Whitesides, G. M. (2012). A paper-based multiplexed transaminase test for low-cost, point-of-care liver function testing. *Science translational medicine*, 4(152), 152ra129-152ra129.

Sasaki, J., Shiino, Y., Kato, Y., Kudo, D., Fujita, M., Miyairi, I., ... & Shimazu, T. (2020). Checklist for infection control in the emergency department. *Acute Medicine & Surgery*, 7(1), e540.

Sharma, S. R., Mishra, S. R., Wagle, K., Page, R., Matheson, A., Lambrick, D., ... & Vaidya, A. (2017). Social determinants of common metabolic risk factors (high blood pressure, high blood sugar, high body mass index and high waist-hip ratio) of major non-communicable diseases in South Asia region: a systematic review protocol. *Systematic reviews*, 6, 1-6.

SoRelle, J. A., Jiao, R., Gao, E., Veazey, J., Frame, I., Quinn, A. M., ... & Patel, K. (2019). Impact of hormone therapy on laboratory values in transgender patients. *Clinical chemistry*, 65(1), 170-179.

Suh, S., Cho, Y. R., Park, M. K., Kim, D. K., Cho, N. H., & Lee, M. K. (2018). Relationship between serum bilirubin levels and cardiovascular disease. *PLoS One*, 13(2), e0193041.

Tsao, Y. T., Tsai, Y. H., Liao, W. T., Shen, C. J., Shen, C. F., & Cheng, C. M. (2020). Differential markers of bacterial and viral infections in children for point-of-care testing. *Trends in molecular medicine*, 26(12), 1118-1132.

van Spronsen, F. J., Blau, N., Harding, C., Burlina, A., Longo, N., & Bosch, A. M. (2021). Phenylketonuria. *Nature reviews Disease primers*, 7(1), 36.

Whitmore, S. P., & Gunnerson, K. J. (2020). Acid-Base and Electrolyte Disorders in Emergency Critical Care. *Emergency Department Critical Care*, 301-329.

- Wilkins, J. T., Ning, H., Stone, N. J., Criqui, M. H., Zhao, L., Greenland, P., & Lloyd-Jones, D. M. (2014). Coronary heart disease risks associated with high levels of HDL cholesterol. *Journal of the American Heart Association*, 3(2), e000519.
- Wojcik, M., Krawczyk, M., Zieleniak, A., Mac Marcjanek, K., & Wozniak, L. A. (2020). Associations of high blood sugar with oxidative stress and inflammation in patients with type 2 diabetes. In *Dietary sugar, salt and fat in human health* (pp. 305-323). Academic Press.
- Woyesa, S. B., Gebisa, W. C., & Anshebo, D. L. (2019). Assessment of selected serum electrolyte and associated risk factors in diabetic patients. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*, 2811-2817.
- Yilmaz, S., Tatliparmak, A. C., & Ak, R. (2024). The Pathophysiology of Injuries and Deaths Managed in Emergency Departments After Earthquake Disasters: A Narrative Review. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 18, e252.
- Zhang, Y., Zhao, J., Wang, Y., Cai, W., Zhang, X., Li, K., ... & Kang, H. (2022). Changes of tumor markers in patients with breast cancer during postoperative adjuvant chemotherapy. *Disease Markers*, 2022(1), 7739777.

COMPUTATIONAL ANALYSIS OF FLOW CHARACTERISTICS IN BENCHMARK NOZZLE CONFIGURATIONS

Technician, SEDA KÖK KOCA¹, Assistant Professor, MESUDE AVCI^{2,*}

¹ SIVAS CUMHURİYET UNIVERSITY, Chemical Engineering, skoks@cumhuriyet.edu.tr -

ORCID ID: 0009-0009-7526-002X

^{2*}SIVAS CUMHURİYET UNIVERSITY, Chemical Engineering,

mesude@cumhuriyet.edu.tr- ORCID ID: 0000-0001-8211-7779

ABSTRACT

Computational fluid dynamics (CFD) is a highly accomplished tool that is currently employed for flow characterization in different areas of research and industry. However, its utilization in medical devices is relatively underdeveloped, mainly due to the strong regulatory standards that rule safety in this field. In light of this, improving a comprehensive and standardized CFD methodology is of paramount importance, as it can enhance the accuracy of biomedical applications and reinforce their dependability. The Food and Drug Administration (FDA) introduced a benchmark model that demonstrates similarities to blood-contacting heart devices, such as catheters, hypodermic needles, blood tubing, hemodialysis sets, cannulas, and syringes, to verify CFD models. When previous studies are investigated, it is seen that the direct comparison of the flow characteristics in two configurations of the nozzle (sudden contraction (SC) and gradual cone (GC)) does not exist. Therefore, in this work, a direct comparison of the flow behavior in two nozzle configurations is performed for the experimental condition of the nozzle, which has the throat Reynolds numbers (Re_t) of 500. Thus, the results will be helpful for clinicians since, with these results, the design of medical devices will be more efficient depending on patients' health and safety regulations.

Keywords: Heart failure, computational fluid dynamics, artificial organs, and ventricular assist devices.

* Corresponding author: mesude@cumhuriyet.edu.tr

Note: This study is derived from a part of the SEDA KÖK KOCA's Master's thesis.

1. INTRODUCTION

Cardiovascular diseases are a significant burden on healthcare systems, and expenses are increasing every year (Murray and Lopez 1997). Although systemic risk factors affiliated with a higher predominance of cardiovascular disease, atherosclerotic plaques (Lee et al. 2008), and aneurysms (Weir 2002) are locally spread, emphasizing the significance of flow-induced wall shear stress (Malek, Alper, and Izumo 1999; Morbiducci et al. 2016). Cardiovascular biomedical devices with complicated geometries have become commonplace in medical practice. In recent decades, computational fluid dynamics (CFD) has emerged as the preferred method for designing and optimizing these devices (Marsden et al. 2014).

CFD techniques are employed extensively to construct and analyze components of heavy industries, including the aerospace and automotive industries. The same tendency is also observed in the medical device industry, where the technology is used for various purposes, including the design, improvement, and analysis of devices such as ventricular assist devices, prosthetic heart valves, stents, blood filters, and hemodialysis catheters. Nevertheless, CFD can facilitate not only modeling a device but also determining alterations in the hemodynamic conditions, including variations in blood flow dynamics and/or the fluid forces applied to the device. CFD has been widely employed in the field of medical research. This has involved using CFD to identify correlations between abnormal stresses and disease initiation and progression (Cebal and Raschi 2013; Chen et al. 2013) and, eventually, to develop CFD as a potential clinical tool. Nevertheless, CFD's efficiency depends on the methods' strengths and the repeatability of results. Therefore, The US Food and Drug Administration (FDA) designed a benchmark, similar to a medical device (US Food and Drug Administration. 2015), to evaluate CFD in biomechanics by comparing in vitro experimental results with the CFD solutions and also providing reference solutions for future validation of CFD solvers (Hariharan et al. 2011).

The FDA nozzle is designed to have similarities to an idealized medical device consisting of two straight tube regions, a straight throat region, and a conical part. Depending on the flow direction, the flow enters a sudden expansion or a gradual cone after exiting from the straight throat region. This design provides diverse ranges of flows involving decelerating, accelerating, and recirculating flow. Depending on the flow direction, the gradual contraction or sudden expansion regions produce alterations in shear stress and velocities, which are more likely to cause blood damage (Stewart et al. 2013). Therefore, the flow hemodynamics of the FDA nozzle gives an idea about the unphysiological flow conditions in medical devices. When previous studies are investigated (Bergersen, Mortensen, and Valen-Sendstad 2019; Fehn, Wall, and Kronbichler 2019; Hariharan et al. 2017; Huang et al. 2022; Mantegazza et al. 2022; Sánchez Abad et al. 2020), it is seen that the direct comparison of the flow characteristics in two configurations of the nozzle (sudden contraction and gradual cone) does not exist. Therefore, in this work, a direct comparison of the flow hemodynamics in two nozzle configurations is performed for the experimental conditions of the nozzle.

2. METHODS

2.1. The Nozzle Model

The 3D experimental geometry is the FDA nozzle frequently used in biomedical practice (Hariharan et al. 2011). The two straight tube regions at the inlet and outlet of the nozzle are 12 mm in diameter and 1200 mm (100 D) in length. The straight throat region has a 4 mm diameter and 40 mm length. Two different configurations of the nozzle, the sudden contraction (SC) and the gradual cone (GC), are modeled (Figure 1).

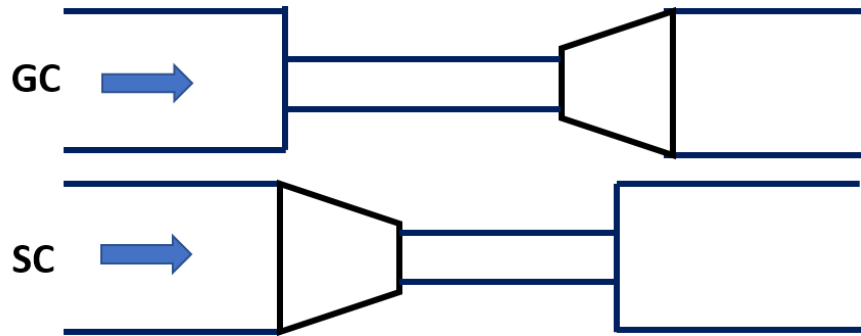


Figure 1. Models of the FDA Nozzle (GC: Gradual Cone, SC: Sudden Contraction)

In the GC configuration, the flow enters the straight throat region after the large straight tube. Following the straight throat region, the flow goes to the conical section and finally enters the larger straight tube, which has equivalent dimensions to the tube at the inlet. In the case of SC orientation, the flow enters the conical section after the large straight tube at the inlet, then goes to the straight throat region, and finally enters directly into the larger straight tube after the narrow throat.

The nozzle models are meshed using Fluent 18.2 and its preprocessing program ICEM CFD (ANSYS Fluent 14.0 Theory guide, n.d.). Following the creation of the geometries, a hexahedral meshing technique is employed to integrate the complete data set. Furthermore, O-grids are utilized to ensure optimal orthogonality around the inlet and outlet regions to enhance the nozzle's mesh quality. Subsequently, the flow geometries are transferred to Fluent to solve the incompressible Navier-Stokes equations through ICEM CFD.

2.2. Flow Conditions

The parameters for the CFD analysis are acquired from the inter-laboratory particle image velocimetry (PIV) work of Hariharan et al. (Hariharan et al. 2011), which includes five datasets from three laboratories. The boundary conditions for the nozzle models are defined, comprising velocities at the domain inlet, specifying outflow at the domain outlet, and a no-slip condition for the nozzle walls. The solution parameters are defined according to the following specifications: the least square cell-based scheme for gradient, the second-order upwind discretization scheme for pressure and momentum, and the simple scheme for pressure-velocity coupling. These are implemented in the simulations conducted on both the SC and GC configurations of the nozzle models, which are executed using the finite volume-based Fluent simulator.

Different experimental conditions are simulated for both nozzle configurations (GC and SC), and the blood is assumed to be laminar and incompressible, expressing Newtonian behavior with a density of 1056 kg/m^3 and a viscosity of $3.5 \text{ mPa}\cdot\text{s}$. in all simulations. The flow simulations are conducted using the shear stress transport $k-\omega$ (SST $k-\omega$) model, which has been validated to exhibit enhanced precision in low Reynolds number internal flows ($Re < 10,000$) (Bluestein 2004; Goubergrits et al. 2016).

The flow simulations are performed and compared for both GC and SC configurations for the first case of the experimental data, in which the blood-flowing inlet velocity is 0.05 m/s , corresponding to a throat Reynolds number of 500.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Analysis of Dynamic Pressure at the Gradual Cone Configuration

The first modeled nozzle configuration is the GC configuration, as shown in Figure 1. For the first experimental condition (Hariharan et al. 2011) of 0.05 m/s inlet velocity (corresponding to throat Reynolds number of 500), simulations are performed, and the results are analyzed. The first parameter analyzed is the dynamic pressure in the nozzle model. Figure 2 illustrates the dynamic pressure changes in the GC configuration of the nozzle.

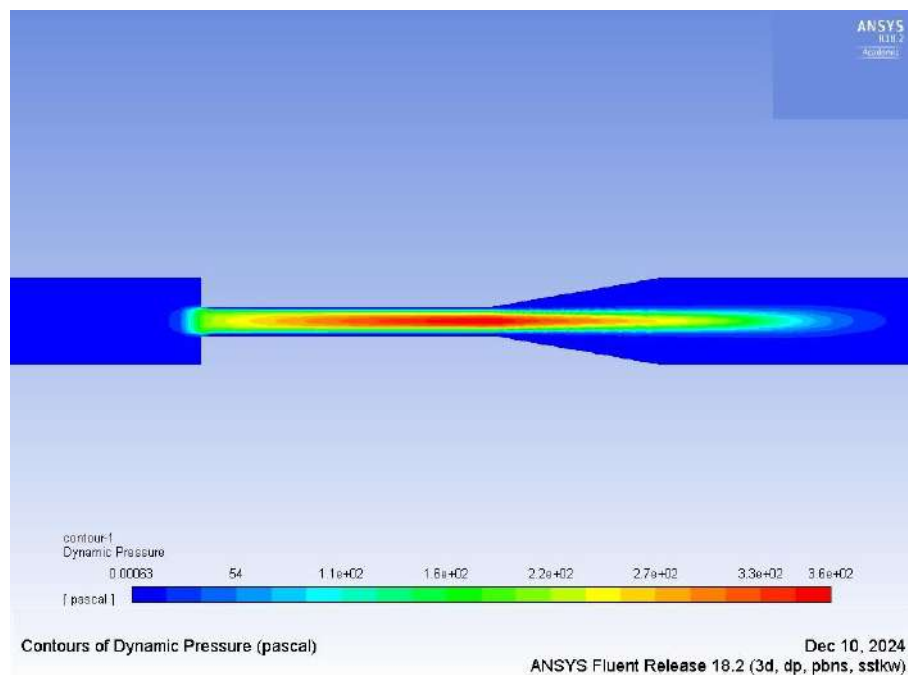


Figure 2. Dynamic Pressure Changes in the GC Configuration for Re_t of 500

Figure 2 shows that the dynamic pressure for the GC configuration increased at the throat region. The highest pressure values can be seen with the red color near the center of the pipe. The high values also continue in the conical section and finally go to lower values after the conical section.

3.2. Analysis of Dynamic Pressure at the Sudden Contraction Configuration

The second modeled nozzle configuration is the SC configuration, which can be seen in Figure 1. The same procedure as in the GC configuration is followed to calculate dynamic pressure in the SC configuration. The dynamic pressure for 0.05 m/s inlet velocity (corresponding to throat Reynolds number of 500) simulations are performed, and the results are shown in Figure 3.

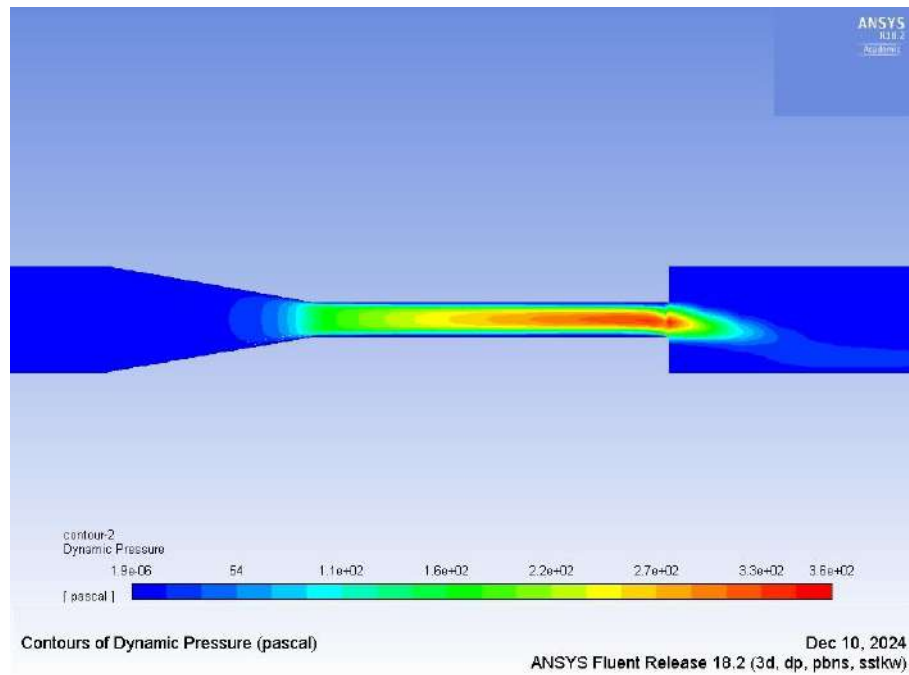


Figure 3. Dynamic Pressure Changes in the SC Configuration for Re_t of 500

Figure 3 shows that the dynamic pressure for the SC configuration is again high in the center. The pressure values started to increase around the middle of the throat region and dropped right after the throat region.

4. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

Since the hemodynamic flow of the FDA nozzle provides insight into the unphysiological flow conditions in medical devices, it is important to have a detailed examination of the nozzle models. This study directly compares the two configurations of the nozzle, which are GC and SC orientations, and gives the parameter changes in the models. The dynamic pressure changes are analyzed in two configurations for the first experimental condition. Results showed that the dynamic pressure values are high in the throat region, with higher values near the center in both configurations. Moreover, the pressure values are decreased after the throat region.

When two configurations are compared, the GC configuration has higher dynamic pressure values than the SC configuration. In the GC configuration, the higher values do not go down directly, and there are still higher values after the throat region in the conical section. However, in the SC configuration, the pressure values go lower right after the throat region. The highest values are similar in both configurations, but the GC configuration has more regions at higher pressure than the SC configuration.

In a future study, it is suggested that the other experimental conditions be run and that two configurations be compared under different experimental conditions. Moreover, other parameters, such as velocity, wall shear stress, etc., can also be examined for both configurations.

REFERENCES

- Bergersen, Aslak W, Mikael Mortensen, and Kristian Valen-Sendstad. 2019. “The FDA Nozzle Benchmark: ‘In Theory There Is No Difference between Theory and Practice, but in Practice There Is.’” *International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering* 35(1): e3150. <https://doi.org/10.1002/cnm.3150>.
- Bluestein, Danny. 2004. “Research Approaches for Studying Flow-Induced Thromboembolic Complications in Blood Recirculating Devices.” *Expert Review of Medical Devices* 1(1): 65–80.
- Cebral, Juan R, and Marcelo Raschi. 2013. “Suggested Connections between Risk Factors of Intracranial Aneurysms: A Review.” *Annals of biomedical engineering* 41(7): 1366–83.
- Chen, Haoyu et al. 2013. “Investigating the Influence of Haemodynamic Stimuli on Intracranial Aneurysm Inception.” *Annals of biomedical engineering* 41(7): 1492–1504.
- Fehn, Niklas, Wolfgang A Wall, and Martin Kronbichler. 2019. “Modern Discontinuous Galerkin Methods for the Simulation of Transitional and Turbulent Flows in Biomedical Engineering: A Comprehensive LES Study of the FDA Benchmark Nozzle Model.” *International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering* 35(12): e3228. <https://doi.org/10.1002/cnm.3228>.
- Goubergrits, Leonid et al. 2016. “Turbulence in Blood Damage Modeling.” *The International Journal of Artificial Organs* 39(4): 160–65. <https://doi.org/10.5301/ijao.5000476>.
- Hariharan, Prasanna et al. 2011. “Multilaboratory Particle Image Velocimetry Analysis of the FDA Benchmark Nozzle Model to Support Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations.” *Journal of biomechanical engineering* 133(4): 41002.
- . 2017. “Use of the FDA Nozzle Model to Illustrate Validation Techniques in Computational Fluid Dynamics (CFD) Simulations.” *PLOS ONE* 12(6): e0178749. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178749>.
- Huang, Feng, Romain Noël, Philipp Berg, and Seyed Ali Hosseini. 2022. “Simulation of the FDA Nozzle Benchmark: A Lattice Boltzmann Study.” *Computer methods and programs in biomedicine* 221: 106863.
- Malek, A M, S L Alper, and S Izumo. 1999. “Hemodynamic Shear Stress and Its Role in Atherosclerosis.” *JAMA* 282(21): 2035–42.
- Mantegazza, Alberto, Nicolas Tobin, Keefe B Manning, and Brent A Craven. 2022. “Examining the Universality of the Hemolysis Power Law Model from Simulations of the FDA Nozzle Using Calibrated Model Coefficients.” *Biomechanics and modeling in*

mechanobiology.

- Marsden, Alison L, Yuri Bazilevs, Christopher C Long, and Marek Behr. 2014. “Recent Advances in Computational Methodology for Simulation of Mechanical Circulatory Assist Devices.” *WIREs Systems Biology and Medicine* 6(2): 169–88.
<https://doi.org/10.1002/wsbm.1260>.
- Morbiducci, Umberto et al. 2016. “Atherosclerosis at Arterial Bifurcations: Evidence for the Role of Haemodynamics and Geometry.” *Thrombosis and haemostasis* 115(3): 484–92.
- Murray, C J, and A D Lopez. 1997. “Alternative Projections of Mortality and Disability by Cause 1990-2020: Global Burden of Disease Study.” *Lancet (London, England)* 349(9064): 1498–1504.
- Sánchez Abad, Nour et al. 2020. “Simulation Strategies for the Food and Drug Administration Nozzle Using Nek5000.” *AIP Advances* 10(2): 25033.
<https://doi.org/10.1063/1.5142703>.
- Stewart, Sandy F C et al. 2013. “Results of FDA’s First Interlaboratory Computational Study of a Nozzle with a Sudden Contraction and Conical Diffuser.” *Cardiovascular Engineering and Technology* 4: 374–91.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:110045728>.
- US Food and Drug Administration. 2015. “No Title.” *Computational fluid dynamics: an FDA Critical Path Initiative project*. <https://fdacfd.nci.nih.gov> (December 15, 2015).

YEŞİL ANALİTİK KİMYA VE ÇOK DEĞİŞKENLİ OPTİMİZASYON YAKLAŞIMLARI

GREEN ANALYTICAL CHEMISTRY AND MULTIVARIATE OPTIMIZATION APPROACHES

Arş. Gör. Seçkin FESLİYAN¹, Prof. Dr. Adil ELİK², Prof. Dr. Nail ALTUNAY³,

¹Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas/Türkiye
seckinf@cumhuriyet.edu.tr, ORCID ID: 0009-0003-3584-3868

²Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas/Türkiye
elik@cumhuriyet.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-3942-4711

³Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas/Türkiye
naltunay@cumhuriyet.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-9053-7570

ÖZET

Analitik kimyada analiz edilen birçok numunenin kendine has doğası vardır. Bu örneklerden belirlenecek analitlerin bir kısmı insanlar için faydalı olduğu gibi birçoğu da oldukça zararlıdır. Bu zararlı analitlerin belirlenmesi için geliştirilen birçok analitik prosedürün kendi dinamikleri de en az hedef analit ve numune kadar tehlikelidir. Yeşil Analitik Kimya yaklaşımı özellikle pek de masum olmayan bu analitik prosedürlerin doğurduğu endişeleri gündeme getirmek ve sorunları ortadan kaldırmak için ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşım analitik kimyada çevreci ve toksik maruziyeti ortadan kaldıran farklı eğilimlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Optimizasyon analitik kimyada verilerin sağlamlığı açısından oldukça önemlidir. Literatürde uzun süredir kullanılan tek değişkenli optimizasyon yaklaşımları yavaş yavaş yerini çok değişkenli optimizasyon yaklaşımlarına bırakmaktadır. Çok değişkenli optimizasyon yaklaşımları deneysel prosedürde sarfiyatın önüne geçen ve minimalist yapı hakim kılan teknikler oldukları için Yeşil Analitik Kimya bağlamında ele alınabilmektedir. Deneysel prosedürüne bağlı olarak çeşitlenebilen bu teknikler analitik açıdan olduğu kadar çevre ve insan sağlığı açısından da önemlidir. Bu çalışmada çok değişkenli optimizasyon yaklaşımlarının farklı türleri hakkında bilgi verilecek ve bunlar yeşil bağlamda ele alınacaktır. Ayrıca bazı literatür çalışmalarına da örnekler verilerek uygulamaları anlatılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Çok değişkenli optimizasyon, yeşil analitik kimya, istatistiksel ve matematiksel optimizasyon, yöntem geliştirme

ABSTRACT

Many samples analyzed in analytical chemistry have their own nature. Some of the analytes to be determined from these samples are beneficial for humans, while many are quite harmful. The dynamics of many analytical procedures developed for the determination of these harmful analytes are at least as dangerous as the target analyte and sample. The Green Analytical Chemistry approach has emerged to raise concerns and eliminate problems caused by these analytical procedures, which are not so innocent. This approach has led to the emergence of different trends in analytical chemistry that eliminate environmental and toxic exposure. Optimization is very important in terms of data robustness in analytical chemistry. Single-variable optimization approaches, which have been used in the literature for a long time, are gradually being replaced by multivariable optimization approaches. Multivariable optimization approaches can be considered in the context of Green Analytical Chemistry because they are techniques that prevent waste in experimental procedures and make a minimalist structure dominant. These techniques, which can be diversified depending on the experimental procedure, are important in terms of environment and human health as well as analytical aspects. In this study, information will be given about the different types of multivariable optimization approaches and they will be discussed in a green context. In addition, examples will be given to some literature studies and their applications will be explained.

Keywords: Multivariate optimization, green analytical chemistry, statistical and mathematical optimization, method development

1. GİRİŞ

Modern çağ birçok alana farklı yenilikler getirmiştir. Her bilim dalı gibi kimya da bundan nasibini almıştır. Fakat gelişim doğası gereği bazı negatif sonuçlara da sebep olmaktadır. Analitik kimyada gelişim, analitik enstrümanlarla daha kolay ve daha duyarlı analitik tayinlere olanak sağlamıştır. Bu ise bilim insanlarının araştırma ve geliştirmeye daha çok motive olmalarını sağlamıştır. Analitik veriler açısından her ne kadar kayda değer sonuçlar ve ilerlemeler kaydedilse de, üzerinde düşünülmesi gereken başka konular da ortaya çıkmıştır. Kullanılan reaktifler, tehlikeli ve toksik çözücüler hem çevre kirliliği hem de toksik kimyasal maruziyeti anlamına gelmektedir. Bu durumlar analitik parametrelerin kalitesi yanında hiç de ihmal edilebilecek türden değildir. Bu bakış açısı 1990'lı yıllarda etkili olmaya başlamış ve günümüzde artık araştırmacıların temel anlayışı haline gelmiştir. Yeşil Kimya ve Yeşil Analitik Kimya yaklaşımlarını ve prensiplerini doğuran bu yaklaşım, sadece çevre ve insan sağlığını değil farklı konuları da gündeme almaktadır. Dolayısıyla bu perspektif ile, sadece analitik sorunlara çözüm getirilmekle kalınmaz, toplumun genelini ilgilendiren problemlerin de önüne geçilmektedir. Analitik prosedürlerde temel alınacak bu iki öge ise bilimsel çalışmaların kalitesi için çok önemlidir. 1990'lı yıllardan beri etkili olan bu çaba özellikle örnek hazırlama açısından analitik kimyaya çağ atlatmıştır. Öyle ki, yeşil prosedürlerde yer alan unsurlar analitik verilerin doğruluğu, güvenilirliği ve verimi açısından oldukça faydalı çıktılar sağlamıştır. Bu mükemmel sinerjinin oluşması ise araştırmacıların konuya olan ilgisini artırmıştır. Günümüzde farklı örnek hazırlama tekniklerinin kullanıldığını görmekteyiz. Bu tekniklerin en bilinen yeşil öncüsü ise şüphesiz mikroekstraksiyon teknikleridir. Mikroekstraksiyon teknikleri, analitik prosedürlerde yeşillik çabalarının en önemli ürünüdür. Bu teknikler analitik verilerin kalitesini artırdığı gibi aynı zamanda çevresel ve insan sağlığı açısından duyulan endişeleri ortadan kaldırmıştır. Analitik prosedürlerin yeşil karakterine katkı sağlayan birçok unsur vardır. Çok değişkenli optimizasyon teknikleri doğası gereği yöntemin yeşil karakterine katkıda bulursa da genel olarak adından hak ettiği kadar söz ettirmemektedir. Literatürdeki çalışmalarda çoğunlukla tek değişkenli optimizasyon tekniklerinin kullanımına yer verilmesi bu durumun temel sebebi olabilmektedir. Mevcut çalışmada, Yeşil Analitik Kimya yaklaşımının temel amacına, önemine ve uygulamalarına genel hatlarıyla değinilmiştir. Ayrıca bu yaklaşım kapsamında olan analitik prosedürler için önemli olduğunu düşündüğümüz çok değişkenli optimizasyon yaklaşımı hakkında bilgi verilip literatürden örnekler okuyucuya sunulmuştur.

2. YEŞİL ANALİTİK KİMYA

Analitik kimyada, analitik süreç sonucunda elde edilen verilerin kalitesi bazı parametrelere bağlıdır. Bunlar doğruluk, duyarlılık, seçicilik ve tekrarlanabilirlik gibi parametrelerdir. Araştırmacıların temel gayesi başta bu parametrelerin verimliliğini sağlamak olsa da toksik kimyasal reaktiflerin kullanımı, yüksek maliyet, enerji ve zaman sarfiyatı gibi konular gündemi daha fazla meşgul etmeye başlayınca, kimyasal süreçle ilgili çevre ve sağlık endişeleri ortaya çıkmıştır. Bu endişeler ise yeni bir süreci başlatmıştır. Kimyada yeşillik olarak adlandırılacak bu süreç, 1987 yılında Paris'te gerçekleşen Euroanalysis VI'da sunulan kimyada çevresel modellere dikkat çeken bir sunumla başlamıştır [1]. 1995 yılında ise Royal Society of Chemistry'nin Analyst dergisinde analitik yöntemlerde minyatürizasyon ve reaktiflerin türü gibi konulara değinilmiş ve analitik prosedürlerin çevresel problemleri ele alınmıştır [2]. 1999 yılına gelindiğinde ise Anastas meşhur Yeşil Kimya yaklaşımını ve bu yaklaşımın 12 ilkesini tanıttığı makalesini yayınlamıştır. Yeşil Kimya'nın analitik prosedür geliştirmedeki etkisini de ele aldığı bu çalışmasındaki temel felsefe ise, çevre ve sağlık açısından zararlı hammaddelerin, toksik reaktiflerin, çözücülerin kullanımını ve tehlikeli yan ürünlerin oluşmasına sebebiyet veren analitik prosedürlerin kullanımının azaltılması veya ortadan kaldırılmasıdır [3]. Bu çalışmalar, analitik prosedürlerde yeşillik sürecini hızlandırmış ve farklı yaklaşımların ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Yakın tarihte Galuszka ve çalışma arkadaşları Yeşil Analitik Kimya'nın (YAK'ın) 12 ilkesini tanıttığı çalışmayı yayınlamış ve büyük ilgi toplamışlardır. Bu 12 ilke ise aşağıdaki gibidir [4];

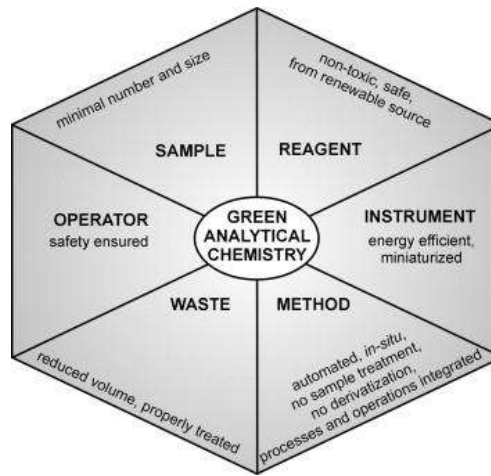
- I. Numune işlemeyi önlemek için doğrudan analitik teknikler uygulanmalıdır.
- II. En az örnek büyüklüğü en az örnek sayısı hedeflenmektedir.
- III. Yerde ölçümler yapılmalıdır.
- IV. Analitik süreçlerin ve operasyonların entegrasyonu enerji tasarrufu sağlar ve reaktif kullanımını azaltır.
- V. Otomatik ve minyatürleştirilmiş yöntemler seçilmelidir.
- VI. Türevlendirmeden kaçınılmalıdır.
- VII. Büyük hacimde analitik atık üretimi önlenmeli ve analitik atıkların uygun yönetimi sağlanmalıdır.
- VIII. Tek seferde bir analit kullanan yöntemlere kıyasla, çoklu analit veya çoklu parametre yöntemleri tercih edilir.
- IX. Enerji kullanımı en aza indirilmelidir.
- X. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen reaktifler tercih edilmelidir.
- XI. Toksik reaktifler ortadan kaldırılmalı veya değiştirilmelidir.
- XII. Operatörün güvenliği artırılmalı

YAK'ın ilkelerine bütüncül bir bakış, çevre ve sağlık açısından sağlanabilecek birçok faydayı göz önüne getirmektedir. Çoğu analitik kimyacıların da genel yaklaşımı bu olmuş ve bu konuda günümüze kadar ulaşan büyük bir trend oluşmuştur.

YAK'ın 1. İlkesi genel anlamda pozitif ve faydalı görünse de büyük bir tezatlığı da içerisinde barındırmaktadır. Bu ilke hiç şüphesiz geleneksel örnek hazırlama tekniklerinin sebep olduğu birçok dezavantaj sebebiyle oluşturulmuştur. Avrupa'da yapılan bir anket 250 analitik kimya laboratuvarı tarafından katılım sağlanmıştır. Buna göre, örnek hazırlama adımının analitik sürecin en zayıf halkası olduğu ve maliyetin, enerjinin, kullanılan kimyasalların ve zamanın en çok harcandığı aşama olduğu fikri ağırlıklı olarak kabul görmüştür [5, 6].

YAK'ın 1. İlkesi her ne kadar örnek hazırlama adımı olmadan numunenin doğrudan tayinini önerse de birçok durum örnek hazırlamayı gerekli kılmaktadır. Analitik süreçte tayin edilmesi planlanan hedef analit, farklı birçok örnek içerisinde yer alabilmektedir. Bu örnekler ise çoğu zaman farklı türleri de içerisinde barındırmakta ve oldukça karmaşık yapı ihtiva etmektedir. Bu can sıkıcı duruma ilave olarak, hedef analitler örnek içerisinde genellikle çok düşük derişimlerde dir. Dolayısıyla, düşük derişimlerdeki bu analiti karmaşık yapıdaki örnek ortamından direkt tayin etmek çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Ayrıca farklı bir faza ayrılıp zenginleştirilmiş analit, analitik enstrümandan verimli bir analitik sinyal elde etmek için de önemlidir. Bu durum özellikle analitik yöntemin hedef analitin tayininde düşük tespit sınırları elde etmek, doğru, seçici ve duyarlı analizler yapmak için çok büyük bir öneme sahiptir. Önceki satırlarda bahsedilen tezatlık ise bu durumlardan kaynaklıdır. Düşünülenin aksine bu tezatlık araştırmacılar tarafından dezavantaja dönüştürülmüş ve etkili sonuçlar alınmıştır. Çünkü örnek hazırlama tekniklerinin doğası da bu teknikleri yeşil yapmaya elverişlidir. Bu elverişli durumdan birçok fayda sağlanarak yeni deneysel prosedürler oluşturulmuş ve geliştirilmiştir. Gelişmelerde temel alınan noktalar ise Galuszka ve çalışma arkadaşlarının bahsettiği şekilde olmuştur. Buna göre modern yeşil analitik yöntemlerin temel hedefleri aşağıdaki gibidir [4];

- Kimyasal maddelerin kullanımının ortadan kaldırılması veya azaltılması (çözücüler, reaktifler, koruyucular, pH ayarlaması için katkı maddeleri ve diğerleri);
- Enerji tüketiminin en aza indirilmesi;
- Analitik atığın uygun şekilde yönetilmesi
- Operatör güvenliği



Görsel 1. Yeşil Analitik Kimya kapsamındaki prosedürlerin bileşenleri [4]

Analitik yöntemlere yeşillik kazandırma sürecinde dikkat çeken bir nokta da, yeşil prosedürlerin oluşturulması, önceki satırlarda bahsedilen teorik yaklaşımların varlığından öncesine dayanmasıdır. Fakat neticede asıl gelişmeler farklı yaklaşımların ortaya çıkmasından ve bu bilincin oluşturulmasından sonra yaşanmıştır. Analitik yöntemlerin yeşillik kazanma sürecindeki deneysel çıktılar aşağıdaki süreç doğrultusunda ilerlemiştir;

1975'te Abu-Samra ve çalışma arkadaşları, çözücü miktarı azaltarak numuneden hedef analitleri izole etmek için mikrodalga enerjisinden faydalandıkları mikrodalga destekli ekstraksiyonu ilk defa kullanmıştır. Bu yöntem aynı zamanda genel bir örnek hazırlama işlemi için enerji tasarrufu da sağlamaktadır [7]. Yapılan bir çalışmada mikrodalga destekli ekstraksiyonun (MAE) soxhlet ekstraksiyonuna kıyasla işlem süresini 20 kat, organik çözücü tüketimini ise 10 kat azalttığı belirtilmiştir [8].

1980'lerin ortasında ise süperkritik sıvı ekstraksiyonunun (SFE) kullanımı ilk defa gerçekleşmiştir. SFE'de temel amaç, organik çözücülerin negatif etkilerinden kaçınmaktır. Bu amaçla ekstraksiyonda süperkritik koşullara getirilmiş CO₂ kullanılmaktadır [9-11].

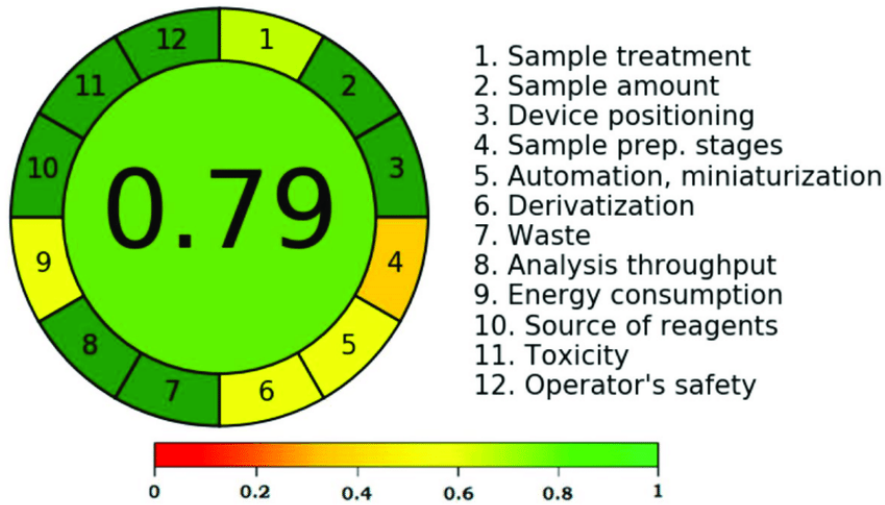
1996 yılında basınçlı sıvı ekstraksiyonu (PFE) olarak adlandırılan ve ticari olarak temin edilebilen yeni bir teknik ortaya çıkmıştır. Burada ise ekstraksiyon verimi basıncın bir fonksiyonudur. Kullanılan çözücüler süper kritik bölgeye yakın koşullarda tutulup yüksek sıcaklıkla çözücü ve hedef analit etkileşimleri artırılır. PFE'de kullanılan çözücüler 15-40 mL hacimde olup ekstraksiyon süreleri 10-20 dk arasındadır [12].

Bu tekniklerin arasında en çarpıcı ve en ilgi çekici etkiyi bırakan teknikler mikroekstraksiyon teknikleri olmuştur. Ekstraksiyon teknikleri, uzun süredir ayırma ve zenginleştirme tekniklerinin en çok kullanılanıdır. Ancak, klasik ekstraksiyon teknikleri yüksek miktarda organik çözücü kullanımı ve nispeten uzun işlem süresi gerektirdiği için YAK ilkelerini karşılamada yetersizdir. Mikroekstraksiyon teknikleri ise isminden de anlaşılacağı üzere mikrolitre seviyelerinde çözücü kullanımıyla ve minyatür doğasıyla klasik ekstraksiyon tekniklerine önemli bir yeşil alternatif olmuştur. Ayrıca bu tekniklerde düşük buhar basınçlı ve toksik olmayan çözücüler kullanılmaktadır [13-15]. Mikroekstraksiyon teknikleri günümüzde de sıklıkla kullanılmaktadır. Katı faz mikroekstraksiyonu ilk kez 1990 [16], sıvı faz mikroekstraksiyonu (LPME) ise ilk kez 1996'da kullanılmıştır [17]. Özellikle LPME'nin dağıtıcı sıvı-sıvı mikroekstraksiyonu (DLLME), oyuk fiber sıvı-faz mikroekstraksiyonu (HF-LPME) ve tek damla mikroekstraksiyonu (SDME) gibi önemli türleri bulunmaktadır.

3. ANALİTİK PROSEDÜRLERDE YEŞİLLİĞİN KONTROLÜ

Analitik prosedürlere yeşil profil kazandırma süreci cevaplanması gereken bir soruyu doğurmuştur. Farklı birçok yaklaşım sonucunda analitik prosedürlerin yeşil doğaya sahip olması için gereken kriterler belliydi fakat geliştirilen prosedürlerin nasıl ve ne kadar yeşil karakterde olduğu ise ölçülemiyordu. Bu sorunu gidermek için Ulusal Çevre Yöntemleri İndeksi'ne (NEMI) dayalı değerlendirme yaklaşımı geliştirilmiştir. 2012 yılında Galuszka ve çalışma arkadaşları tarafından Analitik Eko-Ölçek yaklaşımı ortaya atılmıştır [18]. 2018 yılına gelindiğinde ise Yeşil Analitik Prosedür Endeksi (GAPI) olarak adlandırılan ölçüm kriterleri kullanılmaya başlanmıştır [19].

Bu ölçüm kriterlerinden en yeni ve en çok kullanılanı ise Analitik Yeşillik Ölçüm Yaklaşımı (AGREE)'dir. AGREE Pena-Pereira ve çalışma arkadaşları tarafından 2020 yılında literatüre sunulmuştur [20]. AGREE geliştirilen analitik prosedürün yeşil profili hakkında bilgi vermek için 12 kriteri değerlendirmektedir. Bu 12 kriter, önceki satırlarda bahsedilen YAK'ın 12 kriteridir. Geliştirilen analitik prosedür bu kriterler bağlamında değerlendirildikten sonra prosedür için 0 ile 1 arasında bir genel puan belirlenir. Elde edilen puana göre geliştirilen yöntemin yeşil profili hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Genel kabulde 0,6 ve daha yüksek puanlar yöntemin yeşil profile olduğunu ifade etmektedir.



Görsel 2. Belirli bir prosedürü değerlendirmede kullanılan AGREE kriterleri

4. ÇOK DEĞİŞKENLİ OPTİMİZASYON TEKNİKLERİNİN YEŞİL KATKILARI

Analitik kimyada en uygun analitik sinyalin elde edilmesi için yapılan deneysel faktörlerin ve bu faktörlerin seviyelerinin belirlenmesine ilişkin çalışmalara optimizasyon denir. Özellikle literatürde çok kullanılan optimizasyon tekniği olarak karşımıza çıkan tek değişkenli optimizasyon yaklaşımının sergilediği birtakım dezavantajlardan dolayı bu tekniğin analitik prosedürün yeşil karakterine negatif etkide bulunduğunu düşünüyoruz. Çok değişkenli optimizasyon teknikleri ise bu durumun aksine, hem analitik olarak hem de yeşil profil anlamında çeşitli katkılar sağlamaktadır.

Tek değişkenli optimizasyonda, her deneyde sadece bir değişkenin seviyesi değiştirilir ve diğer değişkenlerin seviyeleri sabit tutulur. Çok değişkenli optimizasyon yaklaşımında ise her bir değişkenin seviyesindeki değişimin analitik modele katkısı izlenebilmektedir. Aynı zamanda deneysel değişkenlerin doğrusal, ikili ve karesel etkileşimlerinin etkilerini incelemek mümkündür. Bu, analitik prosedürün kalitesi için önemlidir. Çok değişkenli optimizasyon stratejisinde kullanılan Yüzey Yanıt Metodolojisiyle (RSM), ön denemelerde yapılan deneylerin sonuçları sisteme girilerek sistemden yapılacak deneylerin sonuçlarına ilişkin tahminler elde edilebilmektedir. Bu istatistiksel tahmin deneysel değişkenlere bağlı değişen analitik sinyalin polinom fonksiyonu olarak verilmektedir. Çok değişkenli optimizasyon yaklaşımları deney tasarım metotlarını içermektedir. Bunlar Merkezi Kompozit Tasarımı (CCD), Placket-Burman Tasarımı, Box-Behnken Tasarımı (BBD) ve Doehlert Tasarımı gibi metotlardır. Deney tasarımı için ön denemeler yapılarak deneysel değişkenler ve bunların seviyelerinin sınırları belirlenir. Daha sonra sonuçlar sisteme girilir ve sistem yapılması gereken deneyleri tasarlar. Bu deneyler belirli sayıda olup genellikle az sayıdadır. Az sayıda deney yaparak sonuca ulaşmayı sağlamaktadır. Az sayıda deney yapmak ise hem kimyasal tüketimini ve maruziyetini, maliyeti ve enerji kullanımını azaltmaktadır [21, 22]. Hem çevre hem de sağlık açısından oluşabilecek riskler minimize edilmektedir. Aşağıda eritrosinin farklı örneklerden tayini için yapılan çalışmada kullanılan çok değişkenli optimizasyon yaklaşımına ilişkin veriler sunulmuştur [23].

Çizelge 1. CCD'ye ait değişkenler, birimleri ve sembolleri

Değişkenler	Sembol	Birim	Düşük	Orta	Yüksek	- α	+ α
pH	A		5.5	8	10.5	4.75	11.25
DES-1 hacmi	B	μ L	200	500	800	110	890
Sıcaklık	C	$^{\circ}$ C	30	37.5	45	27.75	47.25
Sonikasyon süresi	D	dk	3	5	7	2.4	7.6

Çizelge 2. CCD uygulanması sonucunda elde edilen veriler

Deney	A	B	C	D	Deneysel	Modelin
		μL	$^{\circ}\text{C}$	dk	Geri Kazanım %	Geri kazanım %
1	5.5	200	45	7	69.1	70.24
2	10.5	800	45	7	78.4	79.35
3	8	500	37.5	5	74	74.84
4	8	500	37.5	7.6	67.5	67.27
5	10.5	200	45	7	74.8	74.82
6	10.5	800	30	7	80.2	80.10
7	8	500	37.5	5	74.8	74.84
8	5.5	800	30	3	78.2	77.73
9	5.5	200	30	3	72.4	72.32
10	5.5	800	30	7	97.9	98.21
11	5.5	200	45	3	77.3	76.95
12	5.5	800	45	3	81.2	82.38
13	10.5	200	30	3	72.8	73.61
14	8	500	37.5	5	74.2	74.84
15	5.5	200	30	7	83.8	83.53
16	11.25	500	37.5	5	73.1	72.10
17	10.5	800	45	3	86.2	86.02
18	10.5	800	30	3	69.1	68.84
19	8	500	37.5	5	74.9	74.84
20	8	500	27.75	5	81.2	81.63
21	8	500	47.25	5	85.6	84.16
22	8	110	37.5	5	83.2	82.17
23	8	500	37.5	5	75.2	74.84
24	8	500	37.5	5	73.6	74.84
25	10.5	200	30	7	75.9	75.59
26	8	500	37.5	2.4	65.1	64.32
27	8	890	37.5	5	88.6	88.62
28	4.75	500	37.5	5	74.9	74.89
29	5.5	800	45	7	86.2	84.94
30	10.5	200	45	3	90.2	90.76

Çizelge 3. Optimizasyon basamağında elde edilen verilerin ANOVA sonuçları

Kaynak	Kareler toplamı	df	Ortalama kare	F-değeri	p-değeri	
Model	1540.73	14	110.05	112.73	< 0.0001	Anlamlı
A	22.41	1	22.41	22.96	0.0002	
B	119.48	1	119.48	122.39	< 0.0001	
C	18.28	1	18.28	18.72	0.0006	
D	25.02	1	25.02	25.63	0.0001	
AB	103.53	1	103.53	106.05	< 0.0001	
AC	156.88	1	156.88	160.70	< 0.0001	
AD	85.10	1	85.10	87.17	< 0.0001	
BC	0.0006	1	0.0006	0.0006	0.9801	
BD	86.03	1	86.03	88.12	< 0.0001	
CD	321.31	1	321.31	329.13	< 0.0001	
A ²	4.37	1	4.37	4.47	0.0516	
B ²	271.07	1	271.07	277.67	< 0.0001	
C ²	157.91	1	157.91	161.76	< 0.0001	
D ²	198.67	1	198.67	203.51	< 0.0001	
Lack of Fit	12.77	10	1.28	3.40	0.0943	Anlamsız

Çizelge 4. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan yeşil teknikler

Yeşil örnek hazırlama tekniği	Örnek	Analit	Tayin Tekniği	Referans
SPME	Akciğer dokusu	Yağ asitleri	GC-MS	[24]
SPME	İnsan idrarı	Aldehitler	HPLC	[25]
DLLME	Su ve gıda	Ni, Cu	FAAS	[26]
HF-LPME	Çin geleneksel ilaçları	Sinnamik asit türevleri	HPLC	[27]
LPME	Su ve kozmetik numuneler	Ponceau 4R	UV-Vis	[28]
SDME	PAH'lar	Çevresel sular	GC-MS	[29]

5. SONUÇLAR

Artan nüfusla birlikte birçok gelişme olmuştur. Modern çağdaki bu gelişmelerde hiç şüphesiz bilimin payı büyüktür. Bilimsel çalışmaların sayısı ve gerçekleşme hızı arttıkça kimya alanında da farklı analitik yöntemlerin gelişim hızı artmıştır. Bu durum kimyasal tüketimini, maruziyetini ve çevre kirliliğini artırmıştır. Birçok farklı çevre bu konuda ciddi endişeler dile getirmiştir. Duyulan endişeler tarihsel süreç içinde birçok olumlu sonucu doğurmuştur. Yeşil Analitik Kimya yaklaşımı çerçevesinde oluşturulan yöntemler ve bu yöntemlerin bileşenleri buna örnektir. Günümüzde nüfus artışı devam etmekte ve bilimsel çalışmalara olan ihtiyaç en az geçmişteki kadar devam etmektedir. Dolayısıyla bu bilimsel çalışmalarda kullanılacak yöntemler hem günümüz hem de geleceğimiz açısından önemlidir. Günümüzü ve geleceğimizi garanti altına almak için yeşil prosedürlerin geliştirilmesi ve bu prosedürlerin bileşenleri iyice kavranmalıdır. Bu bağlamda yapılacak analitik çalışmalar salt fayda olarak sonuç üretecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Malissa, H., & Roth, E. (1987). Euroanalysis VI: Reviews on Analytical Chemistry.
- [2] de La Guardia, M., & Ruzicka, J. (1995). Guest editorial. Towards environmentally conscientious analytical chemistry through miniaturization, containment and reagent replacement. *Analyst*, 120(2), 17N-17N.
- [3] Anastas, P. T. (1999). Green chemistry and the role of analytical methodology development. *Critical reviews in analytical chemistry*, 29(3), 167-175.
- [4] Gałuszka, A., Migaszewski, Z., & Namieśnik, J. (2013). The 12 principles of green analytical chemistry and the SIGNIFICANCE mnemonic of green analytical practices. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 50, 78-84.
- [5] Armenta, S., Garrigues, S., Esteve-Turrillas, F. A., & de la Guardia, M. (2019). Green extraction techniques in green analytical chemistry. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 116, 248-253.
- [6] Namieśnik, J., & Szefer, P. (2008). Preparing samples for analysis-the key to analytical success. *Ecol. Chem. Eng. S*, 15(2), 167-244.
- [7] Abu-Samra, A., Morris, J. S., & Koirtyohann, S. R. (1975). Wet ashing of some biological samples in a microwave oven. *Analytical Chemistry*, 47(8), 1475-1477.
- [8] Pastor, A., Vázquez, E., Ciscar, R., & De la Guardia, M. (1997). Efficiency of the microwave-assisted extraction of hydrocarbons and pesticides from sediments. *Analytica chimica acta*, 344(3), 241-249.
- [9] Brignole, E. A. (1986). Supercritical fluid extraction. *Fluid Phase Equilibria*, 29, 133-144.
- [10] Hedrick, J. L., Mulcahey, L. J., & Taylor, L. T. (1992). Supercritical fluid extraction. *Microchimica Acta*, 108, 115-132.
- [11] Phelps, C. L., Smart, N. G., & Wai, C. M. (1996). Past, present, and possible future applications of supercritical fluid extraction technology. *Journal of chemical education*, 73(12), 1163.
- [12] Richter, B. E., Jones, B. A., Ezzell, J. L., Porter, N. L., Avdalovic, N., & Pohl, C. (1996). Accelerated solvent extraction: a technique for sample preparation. *Analytical chemistry*, 68(6), 1033-1039.

- [13] Spietelun, A., Marcinkowski, Ł., de la Guardia, M., & Namieśnik, J. (2014). Green aspects, developments and perspectives of liquid phase microextraction techniques. *Talanta*, 119, 34-45.
- [14] Pena-Pereira, F., Lavilla, I., & Bendicho, C. (2010). Liquid-phase microextraction techniques within the framework of green chemistry. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 29(7), 617-628.
- [15] Armenta, S., Garrigues, S., & de la Guardia, M. (2015). The role of green extraction techniques in Green Analytical Chemistry. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 71, 2-8.
- [16] Arthur, C. L., & Pawliszyn, J. (1990). Solid phase microextraction with thermal desorption using fused silica optical fibers. *Analytical chemistry*, 62(19), 2145-2148.
- [17] Liu, H., & Dasgupta, P. K. (1996). Analytical chemistry in a drop. Solvent extraction in a microdrop. *Analytical Chemistry*, 68(11), 1817-1821.
- [18] Gałuszka, A., Migaszewski, Z. M., Konieczka, P., & Namieśnik, J. (2012). Analytical Eco-Scale for assessing the greenness of analytical procedures. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 37, 61-72.
- [19] Płotka-Wasyłka, J. (2018). A new tool for the evaluation of the analytical procedure: Green Analytical Procedure Index. *Talanta*, 181, 204-209.
- [20] Pena-Pereira, F., Wojnowski, W., & Tobiszewski, M. (2020). AGREE—Analytical GREENness metric approach and software. *Analytical chemistry*, 92(14), 10076-10082.
- [21] Anderson, M. J., & Whitcomb, P. J. (2016). RSM simplified: optimizing processes using response surface methods for design of experiments. Productivity press.
- [22] Khuri, A. I., & Mukhopadhyay, S. (2010). Response surface methodology. *Wiley interdisciplinary reviews: Computational statistics*, 2(2), 128-149.
- [23] Fesliyan, S., & Elik, A. (2024). A deep eutectic solvent-based microextraction method for the extraction of Erythrosine from complex samples: statistical approach. *Journal of Food Composition and Analysis*, 135, 106605.
- [24] Cha, D., Liu, M., Zeng, Z., & Zhan, G. (2006). Analysis of fatty acids in lung tissues using gas chromatography–mass spectrometry preceded by derivatization-solid-phase microextraction with a novel fiber. *Analytica chimica acta*, 572(1), 47-54.
- [25] Liu, F., & Xu, H. (2017). Development of a novel polystyrene/metal-organic framework-199 electrospun nanofiber adsorbent for thin film microextraction of aldehydes in human urine. *Talanta*, 162, 261-267.
- [26] Elik, A., Haq, H. U., Boczkaj, G., Fesliyan, S., Ablak, Ö., & Altunay, N. (2024). Magnetic hydrophobic deep eutectic solvents for orbital shaker-assisted dispersive liquid-liquid microextraction (MAGDES-OS-DLLME)-Determination of nickel and copper in food and water samples by FAAS. *Journal of Food Composition and Analysis*, 125, 105843.

- [27] Zhang, S. M., Zhang, X. X., Chen, X., Hu, S., & Bai, X. H. (2020). Deep eutectic solvent-based hollow fiber liquid-phase microextraction for quantification of Q-markers of cinnamic acid derivatives in traditional Chinese medicines and research of their plasma protein binding rates. *Microchemical Journal*, 155, 104696.
- [28] Shah, S. N., Uzcan, F. U. R. K. A. N., & Soylak, M. U. S. T. A. F. A. (2022). Ultrasound-assisted deep eutectic solvent microextraction procedure for traces Ponceau 4R in water and cosmetic samples. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-8.
- [29] Mehravar, A., Feizbakhsh, A., Sarafi, A. H. M., Konoz, E., & Faraji, H. (2020). Deep eutectic solvent-based headspace single-drop microextraction of polycyclic aromatic hydrocarbons in aqueous samples. *Journal of Chromatography A*, 1632, 461618.

KAHVE VE FARKLI GIDA ÖRNEKLERİNDEN Pb VE Cd AĞIR METALLERİN MİKROEKSTRAKSİYONUNDA YEŞİL ÇÖZÜCÜLERİN KULLANIMI

USE OF GREEN SOLVENTS IN THE MICROEXTRACTION OF HEAVY METALS Pb
AND Cd FROM COFFEE AND DIFFERENT FOOD SAMPLES

Arş. Gör. Seçkin FESLİYAN¹, Prof. Dr. Adil ELİK², Prof. Dr. Nail ALTUNAY³,

¹Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas/Türkiye
seckinf@cumhuriyet.edu.tr, ORCID ID: 0009-0003-3584-3868

²Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas/Türkiye
elik@cumhuriyet.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-3942-4711

³Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas/Türkiye
naltunay@cumhuriyet.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-9053-7570

ÖZET

Ağır metaller ekolojik sistemler için önemli kirleticilerdendir. Endüstriyel, doğal ve tarımsal faaliyetler sonucu farklı ekosistemlere geçiş yapan bu kirleticiler dolaylı yollardan canlıların biyolojik sistemlerine giriş yapmaktadır. Birçoğu sinirsel bozukluklara, solunum ve deri rahatsızlıklarına ve DNA hasarına sebep olan bu tehlikeli türlerin alımları ile ilgili düzenleyici sınır getirilmiştir. Pb ve Cd toksik ağır metallere olup düşük seviyelerdeki maruziyetleri bile ciddi sorunlara yol açmaktadır. Pb ve Cd başta çeşitli kahveler olmak üzere birçok gıda maddesinde yer almaktadır. Oluşabilecek sorunların önüne geçmek için, Pb ve Cd'nin bu maddelerden oluşan örnek matrislerinden tayinine ilişkin analitik prosedürler geliştirmek önemlidir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarda farklı analitik tekniklerin kullanımı yer almaktadır. Karmaşık örnek matrislerinde yer alan Pb ve Cd aynı zamanda bu örneklerin içerisinde eser veya ultra eser derişimlerde bulunmaktadır. Bu durumda, geliştirilen analitik prosedürlerin seçiciliği, doğruluğu ve duyarlılığı matris etkisinin ortadan kaldırılmasına ve kompleks örnek ortamından analitin etkin bir şekilde tayinine bağlıdır. Bu kriterleri karşılamak için ayırma ve zenginleştirme teknikleri analitik prosedüre dahil edilmektedir. Mikroekstraksiyon teknikleri, klasik ekstraksiyon tekniklerinin çevre ve insan sağlığı açısından sergilediği riskler dolayısıyla bu tekniklere alternatif olarak kullanılan önemli ayırma ve zenginleştirme teknikleridir. Mikroekstraksiyon teknikleri özellikle minimal profilleriyle öne çıkmaktadır. Bu teknikler, kullanılan çözücülerin düşük toksisiteli olmaları ve çevre açısından risk unsuru barındırmamaları sebebiyle günümüzde araştırmacıların ilgi odağı konumundadır. Mikroekstraksiyon tekniklerinde kullanılan çözücüler genellikle yeşil çözücüler başlığı altında toplanmaktadır. Mikroekstraksiyon tekniklerinin zararsız doğasının ve analitik verimliliğinin

büyük bir payı yeşil çözücülere atfedilebilmektedir. Bu çalışmada, Pb ve Cd ağır metallerinin yer aldığı kahve ve diğer gıda örneklerinin yeşil çözücü destekli mikroekstraksiyonunu içeren prosedürler ve bu prosedürleri oluşturan bileşenler hakkında bilgiler okuyucuya aktarılacaktır. Ayrıca, literatürdeki farklı çalışmalardan ve bu mevcut çalışmada emeği geçen araştırmacıların yer aldığı çalışmalardan örnekler okuyucuya sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Ağır metaller, gıda örnekleri, mikroekstraksiyon teknikleri, yeşil çözücüler, kahve örnekleri

ABSTRACT

Heavy metals are important pollutants for ecological systems. These pollutants, which pass to different ecosystems as a result of industrial, natural and agricultural activities, enter the biological systems of living beings indirectly. Regulatory limits have been set for the intake of these dangerous species, many of which cause neurological disorders, respiratory and skin disorders and DNA damage. Pb and Cd are toxic heavy metals and even low-level exposures cause serious problems. Pb and Cd are found in many food products, especially various coffees. In order to prevent possible problems, it is important to develop analytical procedures for the determination of Pb and Cd from sample matrices consisting of these substances. In this direction, the use of different analytical techniques is included in the studies conducted. Pb and Cd in complex sample matrices are also found in trace or ultra-trace concentrations in these samples. In this case, the selectivity, accuracy and sensitivity of the developed analytical procedures depend on the elimination of the matrix effect and the effective determination of the analyte from the complex sample environment. In order to meet these criteria, separation and enrichment techniques are included in the analytical procedure. Microextraction techniques are important separation and enrichment techniques used as an alternative to classical extraction techniques due to the risks they pose to the environment and human health. Microextraction techniques stand out especially with their minimal profiles. These techniques are currently the focus of researchers' attention due to the low toxicity of the solvents used and the fact that they do not pose a risk to the environment. The solvents used in microextraction techniques are generally grouped under the title of green solvents. A large share of the harmless nature and analytical efficiency of microextraction techniques can be attributed to green solvents. In this study, information about the procedures involving green solvent-assisted microextraction of coffee and other food samples containing heavy metals Pb and Cd and the components that constitute these procedures will be conveyed to the reader. In addition, examples from different studies in the literature and from studies in which the researchers who contributed to this current study took part will be presented to the reader.

Keywords: Heavy metals, food samples, microextraction techniques, green solvents, coffee samples

1. GİRİŞ

Analitik kimya, ağırlıklı olarak yeni yöntemlerin geliştirilmesiyle organik veya inorganik analitlerin farklı örnek gruplarından tayinine odaklanmaktadır. Analitik süreç olarak da adlandırılabilen bu dinamizm, birçok farklı bileşeni içerdiği için komplike bir yapıya sahiptir. Analitik süreçte işleme alınan inorganik türlerin en bilineni de ağır metallerdir. Ağır metallerin bu kadar bilinir olmaları şüphesiz ki çevre ve insan sağlığı üzerindeki negatif etkilerinden dolayıdır. Ağır metaller doğal veya insan faaliyetlerinden kaynaklı süreçler sonucunda farklı ekosistemlere geçiş yapmaktadır. Ağırlıklı olarak besin zinciri yoluyla canlıların yapısına katılan bu analitik türler birçok olumsuz etkiye sebebiyet vermektedir. Besin zincirine dahil olan birçok gıda örneğinin farklı ağır metal içerikleri yapılan farklı çalışmalarla ortaya konulmuştur [1-3]. Dolayısıyla doğru, güvenilir ve hassas analitik yöntemlerle ağır metallerin çeşitli gıda örneklerinden tayinine ihtiyaç vardır. 1990'lı yılların ortalarında, kullanılan analitik prosedürlerin yüksek miktarda çözücü ve enerji kullanımını gerektirmesi ve zaman sarfiyatına sebep olması çevresel ve sağlık endişelerini doğurmuştur [4, 5]. Bu endişelerin sonucunda analitik prosedürlerin yeşilleşmesine ilişkin yeni bir süreç başlamıştır. Dolayısıyla analitik prosedürde elde edilecek analitik parametrelerin kalitesi kadar bu prosedürün çevre ve sağlık üzerindeki etkileri de önemlidir. Analitik prosedürlerde yeşil profil arayışı özellikle analitik prosedürün darboğazı olarak görülen örnek hazırlama tekniklerinde etkili olmuştur. Bu süreç içerisinde birçok örnek hazırlama tekniği gelişmiş olsa da, en büyük etki klasik ekstraksiyon tekniklerinin alternatifi olarak ortaya çıkan mikroekstraksiyon teknikleri ile gerçekleşmiştir. Mikroekstraksiyon tekniklerine özellikle, farklı türleri içerisinde barındıran ve oldukça karmaşık yapıdaki gıda örneklerinden hedef analitin ayrılması ve zenginleştirilmesi için gereksinim duyulmaktadır. Mikroekstraksiyon teknikleri, bu tekniklerinde uygulanmasında kullanılan çözücülerin yeşil doğası ile ön plana çıkmaktadır. Aynı zamanda bu çözücüler analitik sonuçların kalitesi açısından da fayda sağlamaktadır. Tüm bu anlatılanlar göz önünde bulundurulduğunda, yeşil analitik prosedürlerin bilhassa ağır metaller gibi toksik analitik türlerin gıda örneklerinden tayininde ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Mevcut çalışmada Pb ve Cd gibi toksik ağır metallerin de dahil olduğu farklı ağır metal türlerinin gıda örneklerinden analizi için geliştirilen analitik prosedürlerin bileşenleri hakkında okuyucuya bilgi verilmiştir. Ayrıca bu konuya dair yapılan literatür çalışmalarından örnekler okuyucuya sunulmuştur.

2. AĞIR METALLER

2.1. Ağır Metallerin Türleri ve Etkileri

Ağır metaller ile ilgili yapılan birçok tanımlama olsa da, yaygın olarak 5 g cm^{-3} 'ten daha büyük olan metallere ağır metal denilmektedir [6]. Ağır metaller, artan insan nüfusu sonucunda hızlı kentleşme, arazi kullanımındaki değişiklikler, endüstriyel faaliyetler, biyolojik süreçler ve volkanik olaylar sonucunda ekosistemleri kirletmektedir [7, 8].

Ağır metaller toksikolojileri ve biyolojik sistemlerdeki farklı reaksiyonlara katılmalarına göre iki gruba ayrılmıştır. Bunlar toksik ağır metaller (As, Hg, Cd, Pb, Cr gibi) ve esansiyel ağır metallerdir (Zn, Fe, Cu, Mn gibi). Esansiyel ağır metallerin biyolojik sistemler için gerekli olsalarda aşırı miktarları canlı organizmada birikebilmektedir. Bu ise toksik etki yaratmaktadır. Toksik ağır metaller sınıfında yer alan ağır metaller ise düşük derişimlerde bile ciddi rahatsızlıklara sebep olmaktadır. Bu bozukluklar ağır metalin türüne göre değişse de genel olarak karsinogenik etkiler, deri ve solunum sistemi rahatsızlıkları, üriner ve kardiyovasküler bozukluklar görülebilmektedir. Toksik ağır metallerin aşırı alımları ölümle de sonuçlanabilmektedir [9]. Ağır metaller sadece canlılar için çevre için de ciddi risk teşkil etmektedir. Çevre Koruma Ajansı (EPA) ağır metalleri öncelikli kirleticiler olarak tanımlamıştır [10]. Ayrıca EPA ve Toksik Madde ve Hastalık Kayıt Ajansı (ATSDR) tehlikeli maddelerin ilk 20 listesine toksik ağır metalleri yerleştirmiştir [11]. Ağır metallerin sebep olduğu bu olumsuz etkilerden dolayı, farklı kurumlar tarafından ağır metal alımına sınır değer konulmuştur (Çizelge 1.).

Çizelge 1. Ağır metallerin tolere edilebilir günlük alım değerleri [12]

Ağır Metaller	Derişim (mg kg^{-1} vücut ağırlığı)	Kurum
Ni	0,0028	EFSA
Pb	0,0005	WHO/FAO
Cr	0,3	EFSA
Co	0,023	EFSA
Zn	0,43	SCF
Fe	0,8	EFSA, FAO/WHO
Mn	8	EFSA

2.2. Gıdalarda Ağır Metaller

Gıdalardaki ağır metallerin içeriği, gıdanın endüstriyel süreçlerden (paketleme, çeşitli işlemlere maruziyet gibi) dolayı olabilir de temelde toprağın kirlenmesinden kaynaklanmaktadır. Toprak ise noktasal kaynaklar (termik santraller, altın madenleri, deri, klor-alkali endüstrileri ve tekstil endüstrisi gibi) ve noktasal olmayan kaynaklar (toprak erozyonu ve tarımdan dönen sular) tarafından kirlenmektedir [13-15].

Çizelge 2. Çeşitli ülkelerde farklı kaynaklarla kirlenen gıda ürünlerinin ağır metal içerikleri [15]

Gıda türü (tahıllar, meyveler, sebzeler, vb.)	Araştırılan ülke	Ağır metal kirlenme kaynağı	Metal derişimi (kuru ağırlık)
Ispanak	Hindistan	Yetersiz arıtılan kanalizasyon suyu	Cu 0.09 mg/kg Cr 2.9 mg/kg Pb 3.1 mg/kg Zn 10 mg/kg Ni 3.2 mg/kg
Turp	Çin	Yetersiz arıtılmış atık su	Cu 0.34 mg/kg Cr 0.03 mg/kg Pb 0.07 mg/kg Cd 0.012 mg/kg Zn 2.48 mg/kg Ni 0.07 mg/kg
Endüstriyel olarak işlenmiş gıda maddeleri (örneğin şekerleme) ve ilaçlar	USA, İspanya, Portekiz, Belçika, İngiltere, Şili	Endüstriler/gıda işleme endüstrileri/modern pestisitlere dayalı tarım	Cr (0.10–17.7 ppm), Ni (0.01–7.01 ppm), Cu (0.01–6.44 ppm), Zn (0.01–6.44 ppm) Pb (0.03–7.21 ppm)
Patates	Çin	Yetersiz arıtılmış kentsel atık su	Cu 1.03 mg/kg Cr 0.03 mg/kg Pb 0.067 mg/kg Cd 0.015 mg/kg Zn 3.77 mg/kg Ni 0.054 mg/kg
Marul	USA (Florida)	-	As 27.3 mg/kg
Soya fasulyesi	Arjantin	Toprakta pil endüstrisi atıkları	Pb ve Zn (izin verilen sınırların çok üzerinde)
Buğday, domates, turp, ıspanak, patlıcan, havuç, sarımsak, kişniş, bamya	Pakistan	Metalle kirlenmiş yeraltı suyu	Cr > 0.18 mg/kg Pb 0.91–3.96 mg/kg

Dünyada en çok tüketilen içeceklerden biri olan kahve, farklı türleriyle her yaş grubu için sevilen bir içecektir. Kahve ruhsal olarak rahatlamaya sebep olduğu gibi, DNA hasar

seviyelerini azaltma, Parkinson ve Alzheimer hastalıklarına karşı koruma sağlama gibi önemli etkilerinin olabileceği bildirilmiştir. Ayrıca karaciğer, kolorektal ve prostat kanseri ile beyin tümörleri riskini azaltabilmektedir. İçerdiği antioksidan seviyelerinden dolayı oksidatif strese karşı koruyucu olduğu belirtilmektedir [16]. Kahveler ağır metal içerebilmektedir. Bu durum çevre kirliliği, çığ kahve çekirdeklerinin kirlenmesinden, üretimleri sırasında yüzey ve kullanılan kapların kirlenmesinden veya kahve içimine dahil olan ek bileşenlerin kirlenmesinden kaynaklı olabilmektedir [17]. Farklı kahve örneklerin ağır metal içeriğine ilişkin yapılan çalışmalarda bu örneklerin Pb ve Cd ağır metallerini içerdiği saptanmıştır. Bu iki metalde birçok sağlık sorununa sebep olmaktadır. Kurşun deri, solunum ve sindirim sistemi tarafından emilip, oksidan-antioksidan dengesini bozarak iltihaba sebep olmaktadır. Ayrıca nörolojik, üriner ve kardiyovasküler rahatsızlıklara yol açmaktadır. Kadmiyum ise karsinojenik etkisi ile bilinmektedir. Dahası böbrek ve akciğer hastalıklarına sebebiyet vermektedir [9].

3. AĞIR METALLERİN ESER ANALİZİ VE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Ağır metallerin çevre ve sağlık üzerindeki etkileri dolayısıyla en çok maruziyet kaynağı olan gıda örneklerinden doğru, güvenilir ve seçici analitik tayinlerinin yapılması elzemdir. Bu gerçekleştiğinde, ağır metal alımlarının kontrol edilmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca kalite kontrol ve tüketici bilinci açısından da bu durum gerekmektedir. Bunun için ağır metallerin farklı gıda örneklerinden tayini için birçok analitik teknik kullanılmıştır. Bunlar genelde, yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC), alevli atomik absorpsiyon spektrofotometrisi (FAAS), mor ötesi-görünür bölge spektrofotometrisi (UV-Vis), indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS), elektroanalitik teknikler (voltammetri vb.) gibi teknikler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ağır metallerin analitik tayininde gelişmiş enstrümanlar kullanılsa da, genelde ağır metallerin direkt tayini zordur. Ağır metaller çoğunlukla örnek içerisinde eser (< 1 ppm) veya ultra eser (< 1 ppb) seviyelerde bulunmaktadır [18]. Gıda örnekleri gibi örneklerin ortamı birçok farklı türü barındırmaktadır. Dolayısıyla zaten kendisi karmaşık yapıda olan örnek ortamından çok düşük derişimlerdeki hedef analit olan ağır metalin direkt tayini oldukça zordur. Bunun için seçiciliğin artırılması gerekmektedir. Bu amaçla, birçok ayırma ve zenginleştirme tekniği kullanılmaktadır.

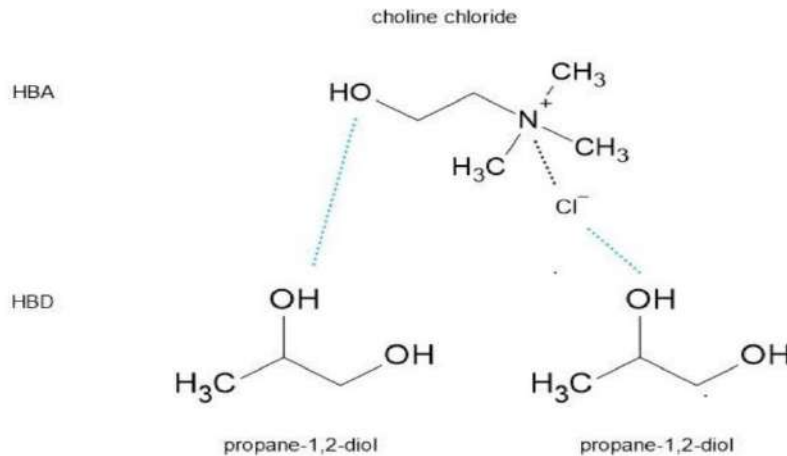
Ayırma ve zenginleştirme teknikleri analitik sürecin en önemli aşamalarından biridir. Bu tekniklerden en çok kullanılanı ise ekstraksiyon teknikleri olmuştur. Ekstraksiyon teknikleri eski zamanlarda birçok çalışmada kullanılsa da bu teknikler toksik çözücülerin yüksek miktarlarda kullanımını içeriyordu. Dahası bu tekniklerin uygulanması için gereken zaman fazla olduğu gibi enerji kullanımı da fazlaydı [19]. Bu gibi dezavantajlardan dolayı 1990'lı yıllarda, örnek miktarının azaldığı, kullanılan çözücülerin mikrolitreler düzeyine indiği basit ve minyatür doğaya sahip mikroekstraksiyon tekniklerinin kullanımı hız kazanmıştır. Mikroekstraksiyon teknikleri, yüksek ekstraksiyon verimi sağladığı gibi birçok açıdan yenilikçidir [20, 21]. Bu tekniklerle zamandan, maliyetten ve enerji kullanımından tasarruf sağlanmaktadır. Mikroekstraksiyon teknikleri genel olarak katı faz mikroekstraksiyonu (SPME) ve sıvı faz mikroekstraksiyonu (LPME) olmak üzere iki başlık altında incelenir.

4. YEŞİL ÇÖZÜCÜLER

Mikroekstraksiyon tekniklerinde çözücünün rolü büyüktür. Uygun bir çözücü hedef analitle güçlü etkileşime girerek analiti kendi fazına almaktadır. Bu durumda ayırma iyi bir şekilde gerçekleşmektedir. Mikroekstraksiyon tekniklerinde kullanılan çözücüler ‘yeşil çözücüler’ başlığı altında toplanmıştır. Bunun sebebi bu çözücülerin çözme gücünün yüksek olmasının yanı sıra, düşük toksisiteli veya hiç toksik olmayan, düşük buhar basınçlı, düşük maliyetli, kolay hazırlanabilen, ayarlanabilir ve çevre dostu özellikte olmalarından dolayıdır [22].

4.1. Derin Ötektik Çözücüler

Derin ötektik çözücüler (DES’ler) hidrojen bağı alıcısı (HBA) ve hidrojen bağı vericisi (HBD) olarak nitelendirilen bir veya daha fazla bileşenin belirli bir sıcaklık ve uygun molar oranda karıştırılmasıyla oluşmaktadır. Molar oran, ilgili DES’in özelliklerini, yani çözme gücünü belirlemektedir. DES’ler bileşenlerinin hidrojen bağı aracılığıyla birleşmesiyle oluşur. Bu oluşum sırasında herhangi bir yan ürün, atık vb. oluşmaz. Yüksek çözme gücüne sahip olan DES’lerin bileşenleri ayarlanabilir özelliktedir. DES’ler ayrıca, biyobozunur, düşük toksisiteli ve düşük buhar basınçlıdır. DES’lerin bileşenleri paramanyetik maddelerle (FeCl₃, MnCl₂, CoCl₂ gibi) birleştirilerek manyetik derin ötektik çözücüler (MDES’ler) elde edilebilmektedir. Ayrıca bileşenleri doğal kaynaklardan oluşan ve doğal derin ötektik çözücü (NADES) olarak adlandırılan DES türü de mevcuttur. DES’lerde HBA olarak kuaterner amonyum tuzları, HBD olarak ise alkol, şekerler, karboksilik asitler kullanılabilir [23-26]



Görsel 1. HBA ve HBD’den DES oluşumu [27]

Elik ve Altunay tarafından yapılan bir çalışmada [28], kahve ürünlerinden Cd, Pb gibi toksik ağır metaller ve bazı esansiyel metallerin tayini amaçlanmıştır. Ağır metallerin FAAS ile tayini öncesinde ayrılması ve zenginleştirilmesi için girdap destekli hidrofobik derin ötektik çözücü temelli dağıtıcı sıvı faz mikroekstraksiyonu kullanılmıştır. Bu çalışmada 5 farklı derin ötektik

çözücünün etkinliği test edilmiş ve en iyi verim fenil asetik asit:dimetilglisin (1:1) karışımından oluşan DES ile elde edilmiştir. Deneysel parametrelerin optimizasyonu sonucunda, optimum koşullarda 0,03 ila 280 $\mu\text{g kg}^{-1}$ aralığında bir doğrusal aralık elde edilmiştir. Cd (II) ve Pb (II) iyonları için tespit limitleri (LOD) 0,015 ve 0,18 $\mu\text{g kg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Yöntemin doğruluk çalışmaları standart referans materyallerin analizlenmesiyle yapılmış ve referans değerlere oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir.

4.2. İyonik Sıvılar

İyonik sıvılar (IL'ler), yeşil çözücülerin önemli bir üyesidir. Bu çözücüler, iyonik çözeltilerden farklı olarak tamamen iyonlardan oluşan sıvılara denmektedir. IL'ler, yüksek termal kararlılığa, düşük erime noktasına, düşük yanıcılığa ve ihmal edilebilir buhar basıncına sahiptir. Birçok türden analit için üstün çözme yeteneği sergileyen bu çözücüler sıklıkla kullanılmaktadır. Geniş bir sıcaklık aralığında sıvı olan bu çözücülerin viskoziteleri ve hidrofilik özellikleri ayarlanabilmektedir. 1-alkil-3-metilimidazolyum, trialkilsülfonyum gibi bileşikler sıklıkla kation; hekzaflorofosfat, alkilsülfat gibi bileşikler ise sıklıkla anyon olarak kullanılmaktadır [29, 30].

Literatürdeki bir çalışmada [31], Cd ve Pb ağır metallerinin farklı şarap örneklerinden elektrotermal atomik absorpsiyon spektrometrisi (ETAAS) ile tayini öncesinde dağıtıcı sıvı-sıvı mikroekstraksiyonu (DLLME) ile ekstraksiyonu amaçlanmıştır. Ekstraksiyon çözücüsü olarak 1-Butil-3-metilimidazolium hekzaflorofosfat (BmimPF_6) kullanılan bu yöntemle, Cd ve Pb için sırasıyla 0,01 ve 0,08 $\mu\text{g L}^{-1}$ tespit sınırları elde edilmiştir.

4.3. Supramoleküler Çözücüler

Supramoleküler çözücüler (SUPRAS) amfifilik moleküllerin kendi kendine organizasyonu sonucu oluşturdukları nano yapıları sıvılardır. Amfifiller kritik misel konsantrasyonu üzerinde kendiliğinden birleşir ve üç boyutlu misel, ters misel ve veziküller gibi yapıları oluşturmaktadır. Amfifil molekülleri yapılarında hem hidrofilik (baş kısmı) hem de hidrofobik (kuyruk kısmı) grubu içerdiği için SUPRAS'ı oldukça avantajlı kılmaktadır. Bu durum farklı özellikteki birçok analit grubu için çözünürlük vadedmeyi sağlamaktadır. Amfifiller düşük maliyetli ve aynı zamanda SUPRAS hazırlamak oldukça kolaydır. Uçucu olmayan bu çözücülerin polariteleri ayarlanabilir özelliktedir. SUPRAS elde etmede alkoller ve karboksilik asitler kullanılabilir [32-34].



Görsel 2. Misel (A) ve ters misel (B) yapıları [35]

Rastegar ve çalışma arkadaşları [36], gıda örneklerinden eser miktardaki kurşun ekstraksiyonu için supramoleküler çözücülü dağıtıcı sıvı-sıvı mikroekstraksiyonu kullanmıştır. SUPRAS olarak tetrahidrofuran (THF) ve 1-dekanol karışımı ile oluşan ters misellerden faydalanılmıştır. Ekstraksiyondan sonra hedef analitlerin tayini için ise FAAS kullanılmıştır. Optimum yöntemle kurşun iyonu için $0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ LOD elde edilmiştir. Ayrıca bağıl standart sapmalar ise %4,8- %4,1 aralığında hesaplanmıştır.

4.4. Değiştirilebilir Hidrofilik Çözücüler

Değiştirilebilir hidrofilik çözücüler (SHS'ler), sulu çözelti CO_2 yokken hidrofobik olan, CO_2 ilavesiyle hidrofilik yapıya geçebilen çözücülere denilmektedir. Farklı özelliğe geçmeyi sağlayan CO_2 burada tetikleyici olarak adlandırılmaktadır. CO_2 , kolay uzaklaştırılabilmesi ve olumsuz özelliklere sahip olmaması sebebiyle sıklıkla kullanılmaktadır. SHS oluşumunda su ile birleşme aşamasında geniş bir yüzey alan oluşması sayesinde çoğu analitin ekstraksiyonunda avantaj sağlar. Ürün ve çözücü ayrımı için de ilave bir ayırma prosedürü gerekmez. Ayrıca SHS'ler toksik bir prosedür oluşumunun da önüne geçer. SHS elde etmede, trietilamin, N-etilpiperidin gibi bazı aminle kullanıldığı gibi; oktanoik nonanoik ve dekanoik asit gibi doymuş yağ asitleri de kullanılmaktadır [37-39].

Konserve gıda örneklerinden Pb ve Cd tayinini amaçlayan bir çalışmada [40], hedef analitler efervesan tablet destekli değiştirilebilir çözücü bazlı sıvı faz mikroekstraksiyonu ile ayrıldıktan sonra FAAS ile tayin edilmiştir. SHS olarak trietilamini tetikleyici olarak ise CO_2 kullanılmıştır. Önerilen yöntemin LOD'leri $0,0195 \text{ mg L}^{-1}$ (Pb) ve $0,0068 \text{ mg L}^{-1}$ (Cd) olmuştur. Ayrıca kalibrasyon aralıkları $0,06$ ila $10,0 \text{ mg L}^{-1}$ (Pb) ve $0,02$ ila $1,50 \text{ mg L}^{-1}$ (Cd) arasında hesaplanmıştır.

5. SONUÇ

Ağır metaller farklı kurumlar tarafından önemli çevre kirleticiler olarak tanımlandığı gibi ayrıca insan sağlığı açısından birçok risk teşkil etmektedir. Bahsi geçen zararların ve risk unsurlarının ortadan kaldırılması için, geçmişte olduğu kadar günümüzde de ağır metallerin farklı örnek gruplarındaki içeriğinin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Bu ise duyarlı, doğru ve seçici analitik prosedürlerin geliştirilmesiyle mümkün olmaktadır. Çevre ve insan sağlığı ile ilgili ortaya çıkan endişeler göz önünde bulundurularak, günümüzde de ilgi odağı olan yeşil prosedürlerin kullanımı, hem çevre bilincinin kazandırılması hem de bilimsel kalitenin sağlanması açısından oldukça önemlidir. Gün geçtikçe artan birçok sebep dolayısıyla gelecekte de çevre ve insan sağlığı ile ilgili endişelerin gündeme gelebileceği varsayımında bulunmak genel çerçevede mümkündür. Dolayısıyla mevcut çalışmada aktarılan bilgiler çevre bilincinin oluşması ve çevre ve sağlık için risk oluşturmeyen analitik prosedürlerin gelecekte de kullanılması için gereken motivasyonun sağlanması açısından da oldukça önemlidir.

TEŞEKKÜR

Mevcut çalışma, F-2024-704 kodlu araştırma projesi kapsamında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından finansal olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Wang, L., Peng, X., Fu, H., Huang, C., Li, Y., & Liu, Z. (2020). Recent advances in the development of electrochemical aptasensors for detection of heavy metals in food. *Biosensors and Bioelectronics*, 147, 111777.
- [2] Lee, J. G., Hwang, J. Y., Lee, H. E., Kim, T. H., Choi, J. D., & Gang, G. J. (2019). Effects of food processing methods on migration of heavy metals to food. *Applied Biological Chemistry*, 62, 1-10.
- [3] Devkota, B., & Schmidt, G. H. (2000). Accumulation of heavy metals in food plants and grasshoppers from the Taigetos Mountains, Greece. *Agriculture, ecosystems & environment*, 78(1), 85-91.
- [4] de La Guardia, M., & Ruzicka, J. (1995). Guest editorial. Towards environmentally conscientious analytical chemistry through miniaturization, containment and reagent replacement. *Analyst*, 120(2), 17N-17N.
- [5] Anastas, P. T. (1999). Green chemistry and the role of analytical methodology development. *Critical reviews in analytical chemistry*, 29(3), 167-175.
- [6] ORAL, E. V. (2023). Saçlarda Biriken Ağır Metallerin Analizleri ile İlgili Yöntem ve Uygulamalar. *International Journal of Health and Applied Science*, 1(1), 1-13.
- [7] Latore, A. M., Kumar, O., Singh, S. K., & Gupta, A. (2014). Direct and residual effect of sewage sludge on yield, heavy metals content and soil fertility under rice–wheat system. *Ecological engineering*, 69, 17-24.
- [8] Un-Habitat. (2004). *The State of the World's Cities: Globalization and Urban Culture*.
- [9] Martin, S., & Griswold, W. (2009). Human health effects of heavy metals. *Environmental Science and Technology briefs for citizens*, 15(5), 1-6.
- [10] Wang, S., Wu, W., & Liu, F. (2019). Assessment of the human health risks of heavy metals in nine typical areas. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 12311-12323.
- [11] ATSDR, F. O. (2012). Toxicological profile for cadmium. *Atlanta, GA*.
- [12] Asomugha, R. N., Udowelle, N. A., Offor, S. J., Njoku, C. J., Ofoma, I. V., Chukwuogor, C. C., & Orisakwe, O. E. (2016). Heavy metals hazards from Nigerian spices. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 67(3).
- [13] Gall, J. E., Boyd, R. S., & Rajakaruna, N. (2015). Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. *Environmental monitoring and assessment*, 187, 1-21.
- [14] Rai, P. K. (2018). *Phytoremediation of emerging contaminants in wetlands*. CRC Press.

- [15] Rai, P. K., Lee, S. S., Zhang, M., Tsang, Y. F., & Kim, K. H. (2019). Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. *Environment international*, 125, 365-385.
- [16] Adler, G., Nędzarek, A., & Tórz, A. (2019). Concentrations of selected metals (Na, K, Ca, mg, FE, CU, Zn, al, Ni, PB, cd) in coffee. *Slovenian Journal of Public Health*, 58(4), 187-193.
- [17] Kargarghomsheh, P., Tooryan, F., Sharifiarab, G., Moazzen, M., Shariatifar, N., & Arabameri, M. (2024). Evaluation of trace elements in coffee and mixed coffee samples using ICP-OES method. *Biological Trace Element Research*, 202(5), 2338-2346.
- [18] Bohn, H. L., Myer, R. A., & O'Connor, G. A. (2002). *Soil chemistry*. John Wiley & Sons.
- [19] Armenta, S., Garrigues, S., & de la Guardia, M. (2015). The role of green extraction techniques in Green Analytical Chemistry. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 71, 2-8.
- [20] Spietelun, A., Marcinkowski, Ł., de la Guardia, M., & Namieśnik, J. (2014). Green aspects, developments and perspectives of liquid phase microextraction techniques. *Talanta*, 119, 34-45.
- [21] Spietelun, A., Marcinkowski, Ł., de la Guardia, M., & Namieśnik, J. (2013). Recent developments and future trends in solid phase microextraction techniques towards green analytical chemistry. *Journal of Chromatography A*, 1321, 1-13.
- [22] del Pilar Sánchez-Camargo, A., Bueno, M., Parada-Alfonso, F., Cifuentes, A., & Ibáñez, E. (2019). Hansen solubility parameters for selection of green extraction solvents. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 118, 227-237.
- [23] Carasek, E., Bernardi, G., Morelli, D., & Merib, J. (2021). Sustainable green solvents for microextraction techniques: Recent developments and applications. *Journal of Chromatography A*, 1640, 461944.
- [24] Florindo, C., Romero, L., Rintoul, I., Branco, L. C., & Marrucho, I. M. (2018). From phase change materials to green solvents: hydrophobic low viscous fatty acid-based deep eutectic solvents. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(3), 3888-3895.
- [25] Cunha, S. C., & Fernandes, J. O. (2018). Extraction techniques with deep eutectic solvents. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 105, 225-239.
- [26] Smith, E. L., Abbott, A. P., & Ryder, K. S. (2014). Deep eutectic solvents (DESs) and their applications. *Chemical reviews*, 114(21), 11060-11082.
- [27] Jauregi, P., Esnal-Yeregi, L., & Labidi, J. (2024). Natural deep eutectic solvents (NADES) for the extraction of bioactives: emerging opportunities in biorefinery applications. *PeerJ Analytical Chemistry*, 6, e32.
- [28] Elik, A., & Altunay, N. (2024). Preparation and investigation of green and cheap deep eutectic solvents for determination of essential and toxic metal ions at trace levels in different coffee products. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 39, 101602.

- [29] Stark, A., & Seddon, K. R. (2000). Ionic liquids. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*.
- [30] Singh, S. K., & Savoy, A. W. (2020). Ionic liquids synthesis and applications: An overview. *Journal of Molecular Liquids*, 297, 112038.
- [31] Martínez, D., Grindlay, G., Gras, L., & Mora, J. (2018). Determination of cadmium and lead in wine samples by means of dispersive liquid–liquid microextraction coupled to electrothermal atomic absorption spectrometry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 67, 178-183.
- [32] Ballesteros-Gómez, A., Rubio, S., & Pérez-Bendito, D. (2009). Potential of supramolecular solvents for the extraction of contaminants in liquid foods. *Journal of Chromatography A*, 1216(3), 530-539.
- [33] Ballesteros-Gómez, A., Sicilia, M. D., & Rubio, S. (2010). Supramolecular solvents in the extraction of organic compounds. A review. *Analytica Chimica Acta*, 677(2), 108-130
- [34] Caballo, C., Sicilia, M. D., & Rubio, S. (2017). Supramolecular solvents for green chemistry. In *The application of green solvents in separation processes* (pp. 111-137). Elsevier.
- [35] Moradi, M., & Yamini, Y. (2012). Surfactant roles in modern sample preparation techniques: a review. *Journal of Separation Science*, 35(18), 2319-2340.
- [36] Rastegar, A., Alahabadi, A., Esrafil, A., Rezai, Z., Hosseini-Bandegharai, A., & Nazari, S. (2016). Application of supramolecular solvent-based dispersive liquid–liquid microextraction for trace monitoring of lead in food samples. *Analytical Methods*, 8(27), 5533-5539.
- [37] Jessop, P. G., Kozycz, L., Rahami, Z. G., Schoenmakers, D., Boyd, A. R., Wechsler, D., & Holland, A. M. (2011). Tertiary amine solvents having switchable hydrophilicity. *Green Chemistry*, 13(3), 619-623.
- [38] Alshana, U., Hassan, M., Al-Nidawi, M., Yilmaz, E., & Soylak, M. (2020). Switchable-hydrophilicity solvent liquid-liquid microextraction. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 131, 116025.
- [39] Bazel, Y., Rečlo, M., & Chubirka, Y. (2020). Switchable hydrophilicity solvents in analytical chemistry. Five years of achievements. *Microchemical Journal*, 157, 105115.
- [40] Chaikhan, P., Udnan, Y., Ampiah-Bonney, R. J., & Chaiyasith, W. C. (2022). Fast sequential multi element analysis of lead and cadmium in canned food samples using effervescent tablet-assisted switchable solvent based liquid phase microextraction (EA-SS-LPME) coupled with high-resolution continuum source flame atomic absorption spectrometry (HR-CS-FAAS). *Food Chemistry*, 375, 131857.

YARIM HÜCRE TEKNOLOJİSİ İLE GÜNEŞ PANELİ ÜRETİM SÜRECİ VE ENERJİ PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELER

YASİN AKMEN

Gençler Doğalgaz İnş. Met. San. ve Tic. Ltd. Şti.
yasinakmen043@gmail.com- 0009-0002-1029-6709

Doç. Dr. OĞUZHAN ERBAŞ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Müh. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü Kütahya
oguzhan.eras@dpu.edu.tr- 0000-0001-9424-4273

ÖZET

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. 2024 yılı kasım ayı verilerine göre lisanssız güneş kurulu gücü bir önceki aya göre artarak 17.331 MW'a ulaşırken, lisanslı güneş kurulu gücü de bir önceki aya göre artarak 1.826 MW seviyesine yükselmiştir. Bu açıdan güneş paneli üreticileri ile enerji sektörü için verimliliği artırmaya yönelik stratejilerin geliştirilmesi ve katkı sağlanması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada da, yarım hücre teknolojisi ile üretilen güneş panellerinin üretim süreci analiz edilmiş ve enerji performansını etkileyen parametreler belirlenmiştir. Güneş enerjisi sistemlerinin verimliliği, kullanılan teknoloji ve üretim sürecine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yarım hücre teknolojisi, monokristal güneş panellerinin verimliliğini artırma potansiyeli sunan yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Özellikle, hücre sayısı, bağlantı düzeni, üretim hataları ve malzeme kalitesi gibi faktörlerin enerji verimliliği üzerindeki rolü değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, yarım hücre teknolojisinin güneş paneli performansını optimize etmek için önemli fırsatlar sunduğunu ve üretim sürecinde yapılacak iyileştirmelerle verimliliğin artırılabilirliğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yarım Hücre Teknolojisi, Güneş Paneli, Enerji Performansı.

SOLAR PANEL PRODUCTION PROCESS WITH HALF CELL TECHNOLOGY AND PARAMETERS AFFECTING ENERGY PERFORMANCE

ABSTRACT

Our country has a significant solar energy potential due to its geographical location. According to November 2024 data, unlicensed solar installed capacity increased compared to the previous month and reached 17,331 MW, while licensed solar installed capacity increased compared to the previous month and reached 1,826 MW. In this respect, it is of great importance to develop strategies and contribute to increasing efficiency for solar panel manufacturers and the energy sector. In this study, the production process of solar panels produced with half-cell technology was analyzed and the parameters affecting energy performance were determined. The efficiency of solar energy systems varies depending on the technology used and the production process. Half-cell technology stands out as an innovative approach that offers the potential to increase the efficiency of monocrystalline solar panels. In particular, the role of factors such as cell number, connection order, production errors and material quality on energy efficiency was evaluated. The findings show that half-cell technology offers significant opportunities to optimize solar panel performance and that efficiency can be increased with improvements in the production process.

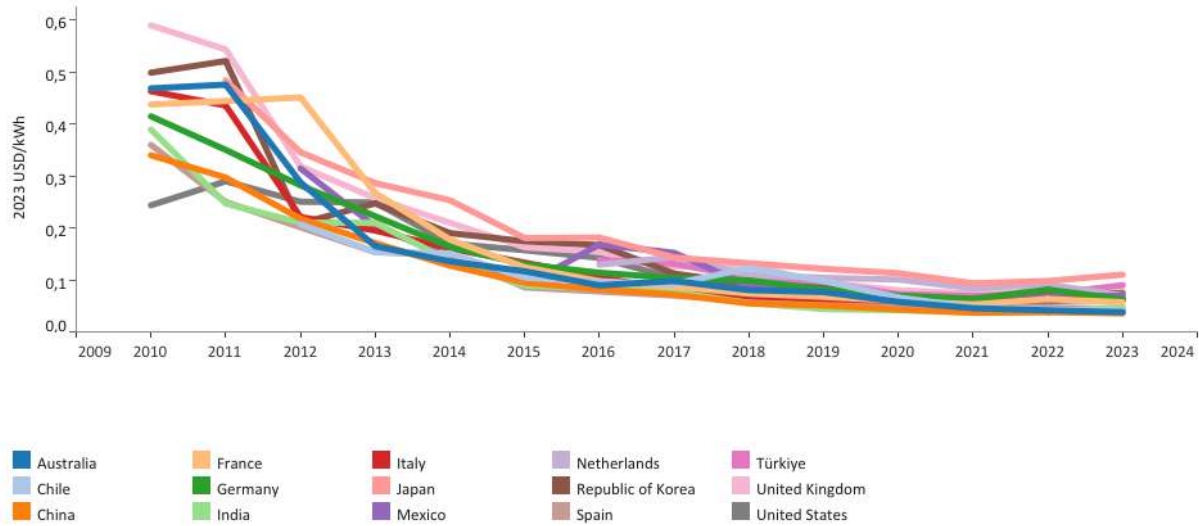
Keywords: Half Cell Technology, Solar Panel, Energy Performance.

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi dünya çapında önemli bir ivme kazanarak elektrik üretimi, su ısıtma ve hatta tuzdan arındırma işlemlerini de içeren uygulamalar için popüler bir seçim haline gelmiştir. Güneş pilleri olarak da bilinen “PV teknolojisi” ; güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştüren özel elektronik cihazlardır. Güneş PV teknolojisi, günümüzde mevcut olan en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji çözümlerinden biri olarak ortaya çıkmıştır. Ülkeler fosil yakıtlara olan bağımlılıklarını azaltmak ve daha temiz enerji kaynaklarına doğru ilerlemek için çalıştıkça, küresel enerji dönüşümündeki rolü giderek daha kritik hale gelmektedir. 2020'nin sonunda, dünya çapındaki güneş PV sistemlerinin kümülatif kurulu kapasitesi etkileyici bir şekilde 710(GW)'a ulaşmış ve bu, güneş enerjisi gelişiminde önemli bir dönüm noktası olmuştur. Aynı yıl, yaklaşık 125 GW yeni güneş PV kapasitesi kurulmuş ve bu, yenilenebilir enerji teknolojilerinin en büyük kapasite artışını temsil etmiştir (Pourasl, 2023).

Güneş PV sistemleri, modülerlikleriyle bilinir; yani farklı ihtiyaçlara uyacak şekilde çok çeşitli boyutlarda ölçeklenebilmektedir. Örneğin, küçük güneş ev kitleleri genellikle 3 ila 20 (kW) arasında üretebilirken, daha büyük kurulumlar yüzlerce (MW) kapasiteye ulaşabilmektedir. Bu çok yönlülük, bireylere ve topluluklara kendi elektriklerini üretme yetkisi vererek enerji piyasasını etkili bir şekilde rahatlatmış ve enerji bağımsızlığını artırmıştır (Stock, 2024).

Geçtiğimiz on yılda, güneş panellerinin üretim maliyeti önemli ölçüde azalmış ve bu teknolojinin yaygın olarak benimsenmesini sağlamıştır. 2010 ile 2020 yılları arasında, güneş modüllerinin fiyatları yaklaşık % 93 oranında düşmüş ve güneş enerjisini yalnızca erişilebilir kılmakla kalmamış, aynı zamanda genellikle mevcut en uygun maliyetli elektrik üretim seçeneği haline getirmiştir. Aynı dönemde, kamu ölçeğindeki güneş PV projeleri için küresel ağırlıklı ortalama dengelenmiş elektrik maliyeti de yaklaşık %85 oranında önemli ölçüde düşmüş ve bu da güneş enerjisinin sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçişte öncü konumunu daha da sağlamlaştırmıştır (Maka, 2022). Maliyetlerdeki bu dikkate değer düşüş, güneş teknolojisinin artan verimliliğiyle birleşince, çok daha fazla hane, işletme ve kamu hizmetinin güneş enerjisine yatırım yapmasının önünü açmış ve sektörü önümüzdeki yıllarda sürekli büyümeye ve inovasyona doğru itmiştir (Kalogirou, 2023). Şekil 1’de ülkeler bazında (kWh) başına güneş enerjisi maliyetlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 1. Yıllara Göre Ülkeler Bazında (kWh) Enerji Başına Maliyetlerin Değişimi

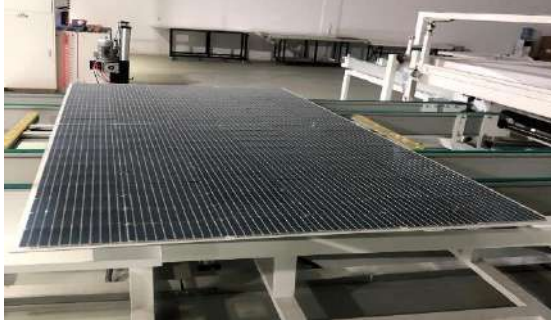
Günümüzde, tam hücre teknolojisine göre yarım hücre teknolojisi fotovoltaik endüstrisindeki çok sayıda üretici tarafından modül tasarımında giderek daha fazla benimsenen önemli bir

ilerleme olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yenilikçi yaklaşım, geleneksel bir güneş hücresinin iki küçük yarıya hassas bir şekilde kesilmesini veya ayrılmasını gerektirmektedir. Bu tasarımın arkasındaki mantık, her yarım hücrenin akımı yarıya indirirken orijinal hücreyle aynı voltaj çıkışını korumasıdır. Akımı yarıya indirerek, direnç kayıpları önemli ölçüde en aza indirilmiş olmakta ve bu da güç kayıplarında yaklaşık % 75'lik bir azalmaya yol açmaktadır. Bu verimlilik artışı, güneş modüllerinin genel performansını artırmada kritik öneme sahiptir. Ayrıca, yarım hücre modülleri, tüm modülün paralel olarak bağlanan iki küçük, kare şeklindeki üniteye bölüdüğü bir tasarım biçimini gerektirir. Bu yapılandırma, direnç kayıplarını azaltarak performansı iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda gölgelemeyle ilgili sorunların hafifletilmesine yardımcı olmakta ve gerçek dünya koşullarında modülün enerji verimini artırmaktadır (Zhang, 2021). Şu anda yaklaşık %5'lik bir pazar payına sahip olan bu teknolojinin, avantajlarının giderek daha fazla tanınması ve enerji pazarında daha verimli güneş enerjisi çözümlerine olan talebin artmasıyla birlikte 2029 yılına kadar yaklaşık % 40'a çıkması öngörülmektedir.

2. YARIM HÜCRE TEKNOLOJİSİ İLE GÜNEŞ PANELİ ÜRETİM SÜRECİ

Geleneksel olarak, çoğu güneş paneli, tasarıma ve amaçlanan uygulamaya bağlı olarak 60 veya 72 tam boyutlu güneş hücresi ile üretilir. Buna karşılık, yarım hücre güneş panelleri genellikle yaklaşık 120 veya 144 yarım hücreye sahiptir. Hücre sayısındaki bu artış, özellikle değişken güneş ışığı koşullarına sahip alanlarda daha iyi performans sağlar, çünkü yarı kesilmiş hücreler gölgelenmenin etkisini en aza indirerek daha tutarlı enerji üretimi sağlamaktadır (Tripathy, 2016). Yarım hücreler polikristalin malzemelerden yapılabilirken, çoğunlukla yarı kesilmiş monokristalin PERC (Pasifleştirilmiş Yayıcı ve Arka Hücre) teknolojisi kullanılarak üretilmektedir. Bu özel panel türü, özellikle düşük ışıklı ortamlarda üstün verimliliği ve performansı ile bilinmekte ve bu sebeple ticari uygulamalar arasında popüler bir seçim haline gelmektedir. PERC hücrelerinin temel farkı, güneş hücresinin arka yüzeyinde ek bir yansıtıcı ve pasivasyon katmanına sahip olmasıdır. Pasivasyon katmanı, hücrenin arka yüzeyine eklenir. Elektronların yeniden birleşmesini azaltır, yani hücre yüzeyinde enerji kaybını önler. Bu, hücrenin enerji dönüşüm verimliliğini artırır. Yansıtıcı katman da, hücreye ulaşan ve emilmeyen güneş ışığını geri yansıtarak, ışığın hücre içinde ikinci kez emilmesini sağlamaktadır. Bu, toplam enerji üretimini artırır. PERC hücreleri daha düşük sıcaklıklarda çalışır, bu da enerji verimliliğini korumaya yardımcı olur. PERC hücreler, düşük ışık koşullarında (örneğin, sabah veya akşam saatlerinde) daha iyi enerji üretir. Arka yüzey

yansıtıcısı, çift yüzeyli (bifacial) güneş panelleriyle kombine edilerek toprak veya diğer yüzeylerden gelen yansıyan ışığı da enerjiye dönüştürür. Şekil 2’de bu teknoloji ile üretilmiş güneş panelleri görülmektedir.



Şekil 2. Yarım Hücre Teknolojisi ile Üretilmiş 550 W Gücünde Güneş Paneli

3.ENERJİ PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELERİN ANALİZİ

Tek bir sürekli devreye sahip geleneksel güneş panellerinin aksine, yarım hücre panellerde iki ayrı bağlantı kullanır. Bu tasarım, panelin bir bölümünde arıza veya bozulma meydana gelirse, diğer bölümün bağımsız olarak çalışmaya devam edebileceği ve böylece panelin genel güvenilirliğini artırabileceği anlamına gelir. Yarım hücre güneş panellerinin enerji performansını artıran parametreler aşağıdaki şekilde analiz edilebilir;

- Mikro Çatlaklara ve Sıcak Noktalara Karşı Artan Direnç : Hücreler yarıya indirildiği için, panel boyunca mikro çatlakların oluşma olasılığı azalır. Bu tasarım, aşırı ısının birikebileceği panel alanları olan sıcak noktaların olasılığını en aza indirir ve böylece güvenliği ve verimliliği artırır.
- Uzun Ömür : Yarı kesilmiş tasarımın sağladığı yapısal bütünlük, bu paneller için daha uzun bir çalışma ömrüne katkıda bulunur. Geleneksel panelleri sıklıkla etkileyen aşınma ve yıpranmaya daha az eğilimlidirler ve bu da onları daha dayanıklı bir yatırım haline getirir.
- PERC Teknolojisi ile Gelişmiş Işık Emilimi : Pasifleştirilmiş yayıcı ve arka hücre (PERC) teknolojisi ile entegre edildiğinde, yarı kesilmiş güneş hücreleri ışık Emilimi ve elektron yakalama sürecini optimize eder. Bu, koşullar idealden daha az olsa bile daha fazla güneş ışığı yakalayabildikleri için daha yüksek verimlilik oranları ve iyileştirilmiş enerji üretimi ile sonuçlanır.

- Gölgeli Koşullarda İyileştirilmiş Performans : Yarım hücre güneş panelleri, gölgeye veya değişken çevre koşullarına maruz kaldıklarında üstün verimlilik gösterir. Tasarımları, panelin yalnızca bir kısmı güneş ışığı aldığı anda bile daha iyi güç üretimine olanak tanır ve gölgenin genel enerji çıkışı üzerindeki etkisini azaltır.
- Daha Yüksek Güç Çıkışı : Yarım hücre güneş panellerinin tasarımı, daha yüksek enerji üretimi sağlayan alanın daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlar. Pratik açıdan bu, yarı kesilmiş bir güneş panelinin aynı boyuttaki standart bir panele kıyasla daha fazla elektrik üretebileceği anlamına gelir.
- Elektrik Üretiminde Genel Artış : Çalışmalar, yarım hücre güneş panellerinin kullanımıyla elektrik üretiminin yaklaşık %3 oranında artabileceğini göstermiştir. Bu geliştirme, güneş enerjisi sistemlerinin genel verimliliğine ve yatırım getirisine önemli ölçüde katkıda bulunabilir.

4. SONUÇLAR

PERC teknolojisi, güneş hücresi tasarımında önemli bir gelişme olarak kabul edilmektedir. Çift yüzeyli PERC hücreler, heterojunction (HJT) ve tandem hücre teknolojileri ile kombine edilerek gelecekte daha da yüksek verimlilik hedeflenmektedir. Bu, güneş enerjisi sistemlerinin maliyet etkinliğini artırarak yenilenebilir enerjiye geçişi hızlandırmaktadır. Sonuç olarak, yarı kesilmiş güneş panelleri, güneş enerjisine yatırım yapmak isteyen ev sahipleri ve işletmeler için onları çekici bir seçenek haline getiren çeşitli teknik ve pratik avantajlar sunmaktadır. Monokristal veya polikristal hücreler farklı verimliliklere sahipken, monokristal hücreler daha yüksek verimlilik sağlamaktadır. Yarım hücre teknolojisi, ısının daha eşit dağıtılmasını sağlamakta, bu, hücrelerin aşırı ısınmasını engellemekte ve ömrünü de uzatmaktadır.

KAYNAKLAR

- 1- Pourasl, H. H., Barenji, R. V., & Khojastehnezhad, V. M. (2023). Solar energy status in the world: A comprehensive review. *Energy Reports*, 10, 3474-3493.
- 2- Stock, R., & Sareen, S. (2024). Solar aporias: On precarity and praxis in interdisciplinary research on solar energy. *Energy Research & Social Science*, 116, 103661.
- 3- Maka, A. O., & Alabid, J. M. (2022). Solar energy technology and its roles in sustainable development. *Clean Energy*, 6(3), 476-483.
- 4- Kalogirou, S. A. (2023). *Solar energy engineering: processes and systems*. Elsevier.
- 5- Zhang, Y., Kim, M., Wang, L., Verlinden, P., & Hallam, B. (2021). Design considerations for multi-terawatt scale manufacturing of existing and future photovoltaic technologies: challenges and opportunities related to silver, indium and bismuth consumption. *Energy & Environmental Science*, 14(11), 5587-5610.

6- Tripathy, M., Sadhu, P. K., & Panda, S. K. (2016). A critical review on building integrated photovoltaic products and their applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 451-465.

BİR İKLİMSEL TEST ODASINDA HAVA ISITMALI ve FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİNİN PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Fatma PAPTAYA

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, 231120105@firat.edu.tr -
0009-0005-2277-6170

Doç. Dr. Mehmet DAŞ

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, m.das@firat.edu.tr - 0000-
0002-4143-9226

Prof. Dr. Ebru AKPINAR

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, ebruakpinar@firat.edu.tr -
0000-0003-0666-9189

ÖZET

Güneş enerjisi, rezervi bitmeyen ve çevreyi kirletmeyen temiz bir enerji kaynağı olup kolayca ısı enerjisine çevrilebilme özelliğinden dolayı dünya genelinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisi, fosil yakıtların tükenmeye yüz tuttuğu günümüzde gittikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Diğer taraftan bu yakıtların gerek taşınması gerek işlenmesi sırasında çevreye verilen zarar dünya kamuoyunda ciddi tartışmalara yol açmakta, küresel ısınmanın ana nedeni olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada, bir iklimsel test odasında, hava ısıtım sistemleri ile fotovoltaik güneş panellerinin enerji verimlilik değerleri incelenmiştir. Amaç, güneş enerjisinin etkin kullanımını sağlamak amacıyla bu iki teknolojinin performansını karşılaştırmak ve optimize etmektir. Test odasında, Antalya iline ait T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen aylık ortalama sıcaklık, nem, hava hızı ve güneş radyasyonu verileri dikkate alınarak ortam koşulları, bu verilere uygun şekilde ayarlanmıştır. Bu verilere dayanarak, Antalya iline 12 aylık ortalama iklimsel koşullar sağlanmış ve test odasında bu koşullar altında fotovoltaik (PV) güneş panelinin ürettiği elektrik enerjisi ve havalı güneş kollektörü (HGK) sıcak hava üretim performansı gözlemlenmiştir. Elde edilen veriler, her iki teknolojinin enerji verimliliğini artırmaya yönelik potansiyel iyileştirmeler yapmayı hedeflemekte olup, bu çalışma yenilenebilir enerji sistemlerinin etkinliğini artırmak ve enerji verimliliği sağlamak için önemli bir yol haritası sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Güneş enerjisi, Fotovoltaik güneş panelleri, Hava ısıtım sistemleri

1. GİRİŞ

Güneş, evrendeki en önemli enerji kaynağından biridir ve bilinen enerji kaynakları arasında en temiz ve tükenmeyen seçeneklerden biridir. Dünya, güneşten yılda yaklaşık 1.5 katrilyon MW/saat enerji alır ki bu miktar, insanlığın bir yılda tüketeceği enerjinin tam 28.000 katıdır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre, güneş ışığının dünya yüzeyine sadece 90 dakika içinde ulaşan miktarı, tüm dünya için bir yıl boyunca gerekli olan enerjiye eşdeğerdir. IEA ayrıca, 2050 yılında küresel elektrik üretiminin %11'inin güneş enerjisinden sağlanacağını ve 2030 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllık %7,6 oranında bir büyüme ile en hızlı gelişen enerji türü olacağını öngörmektedir.

Türkiye'de güneş enerjisi, yüksek potansiyeli, kullanımının pratikliği, yenilenebilir olması ve çevreye duyarlı yapısıyla diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha hızlı bir şekilde yayılma kapasitesine sahiptir. Türkiye'nin hemen her bölgesinde güneş enerjisinden verimli bir şekilde yararlanmak mümkündür. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat (günlük toplamı 7,5 saattir), yıllık toplam gelen güneş enerjisi ise 1527 kWh/m².yıl, yani günlük toplam olarak 4.2 kWh/m² değerinde belirlenmiştir [1]. Aşağıda, görsel 1.'de Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası görülmektedir [2].



Görsel 1. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası [2]

Türkiye, yıllık 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Yapılacak uygun yatırımlarla, Türkiye her yıl birim alan başına ortalama 1100 kWh güneş enerjisi üretebilir. Tablo 1'de, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin aylık dağılımı yer almaktadır[3].

Çizelge 1. Türkiye'nin Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Aylara Göre Dağılımı [3]

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kcal/cm ² -ay) (kWh/m ² -ay)	Güneşlenme Süresi (saat/ay)	
Ocak	4.45	51.75	103.0
Şubat	5.44	63.27	115.0
Mart	8.31	96.65	165.0
Nisan	10.51	122.23	197.0
Mayıs	13.23	153.86	273.0
Haziran	14.51	168.75	325.0
Temmuz	15.08	175.38	365.0
Ağustos	13.62	158.40	343.0
Eylül	10.60	123.28	280.0
Ekim	7.73	89.90	214.0
Kasım	5.23	60.82	157.0
Aralık	4.03	46.87	103.0
Toplam	112.74	1311.00	2640
Ortalama	308.0 Cal/cm²-gün	3.6 kWh/m²-gün	7.2 saat/gün

Günümüzde enerji verimliliği ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımı, çevresel etkileri azaltmak ve artan enerji taleplerini karşılamak adına büyük bir önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, dünya genelinde enerji üretiminde giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu doğrultuda, fotovoltaik güneş panelleri ve hava ısıtmalı sistemler, enerji üretimi ve tüketiminde verimliliği artırmaya yönelik iki önemli teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Fotovoltaik paneller, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürerek çevre dostu bir çözüm sunarken, hava ısıtmalı sistemler de düşük enerji tüketimiyle verimli ısınma sağlamaktadır.

Fotovoltaik panellerin verimliliği, çevresel koşullara, özellikle de ortam sıcaklığına duyarlıdır. Güneş ışınımı ne kadar yüksek olursa, panelin üretim kapasitesi de o kadar artar. Bununla birlikte, ortam sıcaklığının yükselmesi fotovoltaik panellerin verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Panellerin sıcaklıklarının artması, iç dirençlerin yükselmesine ve dolayısıyla elektrik üretim kapasitesinin düşmesine yol açar. Bu yüzden fotovoltaik panellerin verimli çalışabilmesi için çevresel koşulların dikkatlice kontrol edilmesi gereklidir.

Güneş enerjisi ile çalışan sistemlerin performanslarını incelemek için laboratuvar ortamında farklı çevresel parametreler elde edilerek çeşitli deneyler yapılmıştır. Literatürde yapılan araştırmalarda, güneş enerji sistemlerinin performansını incelemek için farklı çevresel koşulları sağlamak adına üretilen bir test odasına sahip çalışmalar oldukça azdır. Genellikle güneş ışınım değeri için simülatörler kullanılan çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Ji ve arkadaşları, güneş destekli ısı pompası sisteminin donma koşullarındaki performansını incelemek için bir test odası tasarlamışlardır. Sistemi, 7 °C ila -3 °C ortam sıcaklıkları, %50, %70 ve %90 bağıl nem ve 0 W/m², 100 W/m² güneş ışınımı ile çeşitli donma koşulları altında test etmişlerdir. Tasarladıkları test odasında kullandıkları klima santrali kontrol edilebilir hava döngüsü sunan soğutucular, ısıtıcılar ve sabit bir fandan oluşmuştur. Güneş simülatörü olarak sabit halojen lambalar kullanmışlardır[4].

Stanek ve arkadaşları parabolik yoğunlaştırıcı güneş sistemindeki parabolik lineer soğurucunun çalışmasını incelemek için sabit ve tekrarlanabilir koşullar altında testlerin yapılmasına izin veren güneş simülatörü kullanmışlardır. Kullandıkları güneş simülatörü, aşağı ve yukarı hareket edebilen her biri %60'a kadar kısma olasılığı olan 575 W nominal güce sahip 18 metal halojenür lambadan oluşmuştur[5].

Hosseini ve arkadaşları, bu çalışmada laboratuvar ölçeğinde, monokristal silikon (mc-Si) ve polikristal silikon (pc-Si) olmak üzere iki güneş pili türünün performans parametreleri üzerindeki çığ oluşumunun etkisini incelemişlerdir. Deneyleri, LED ışığına dayalı bir güneş simülatörü ile donatılmış bir çevre odasında gerçekleştirmişlerdir. Panel yüzeyinde çığ oluşumu, sırasıyla %45, %60 ve %75 olmak üzere üç farklı nem oranında ve ortam sıcaklığının 25°C olduğu koşullarda yapılmıştır. Psikometrik diyagramına dayanarak, çığ noktası sıcaklıklarının sırasıyla %45, %60 ve %75 bağıl nem seviyelerine karşılık gelen 12.5°C, 8.5°C ve 4.5°C daha düşük olduğu belirlenmiştir. Modül yüzeyindeki çığ örtme oranlarının, sırasıyla %45, %60 ve %75 bağıl nem seviyelerinde sırasıyla %45.19, %63.50 ve %83.62 olduğu tahmin edilmiştir. Açık devre gerilmesi, kısa devre akımı, maksimum güç, maksimum gerilim ve maksimum akım gibi performans parametreleri, nemli hava ve çığ oluşumu koşulları için Isingle bondV ve Psingle bondV karakteristik eğrilerinden belirlemişlerdir. Ayrıca, çıkış elektrik gücü ve bağıl verimlilikteki değişiklikleri hesaplamışlardır. Sonuçlar, güneş modüllerinin yüzeyinde çığ bulunmasının, nemli havaya kıyasla fotovoltaiik performans parametrelerini artırdığını göstermiştir. mc-Si güneş pili için, sıcaklık etkisi düzeltildikten sonra çığ oluşumu koşulunda bağıl verimlilik, nemli hava koşullarına kıyasla sırasıyla %2.83, %3.13 ve %4.06 artarken, pc-Si güneş pili için bu değerler sırasıyla %1.45, %3.26 ve %4.39 olmuştur. Tüm fotovoltaiik performans parametreleri, modül yüzeyinde çığ örtme miktarının artmasıyla doğrusal olarak azaldığını gözlemlemişlerdir[6].

Sowmy ve arkadaşları, bir test odasında farklı çevresel şartlar elde ederek sulu düzlemsel güneş kolektörünün enerji verim değerlerini incelemişlerdir. Test odasında elde ettikleri çevresel şartlar güneş ışınımı, sıcaklık ve hava hızıdır. Test odasında, ısıtıcılarla elde ettikleri 4 farklı sıcaklık değerleri (20,40,60,80°C) ve sabit yatay hava üfleyicilerle elde ettikleri 3 farklı hava hızı değerleri (1, 2, 3 m/s) ile güneş kolektörünün performansını incelemişlerdir. Ayrıca testlerde güneş kolektörü üzerine ışınım değerlerinin dik bir şekilde gelmesini sağlayan elektrik motorlu güneş simülatör kullanarak üretilen 7- 900 W/m² aralığında ışınım değerlerini kullanmışlardır[7].

Bu çalışmada, iklimsel test odasında bu iki teknolojinin enerji verimlilikleri incelenerek karşılaştırılmış ve her iki sistemin potansiyel iyileştirmeleri ele alınmıştır. Elde edilen bulgular, yenilenebilir enerji sistemlerinin etkinliğini artırmaya yönelik öneriler sunarak, enerji verimliliği ve sürdürülebilir enerji kullanımına katkı sağlamak amaçlanmıştır.

2. MATERYAL ve METOT

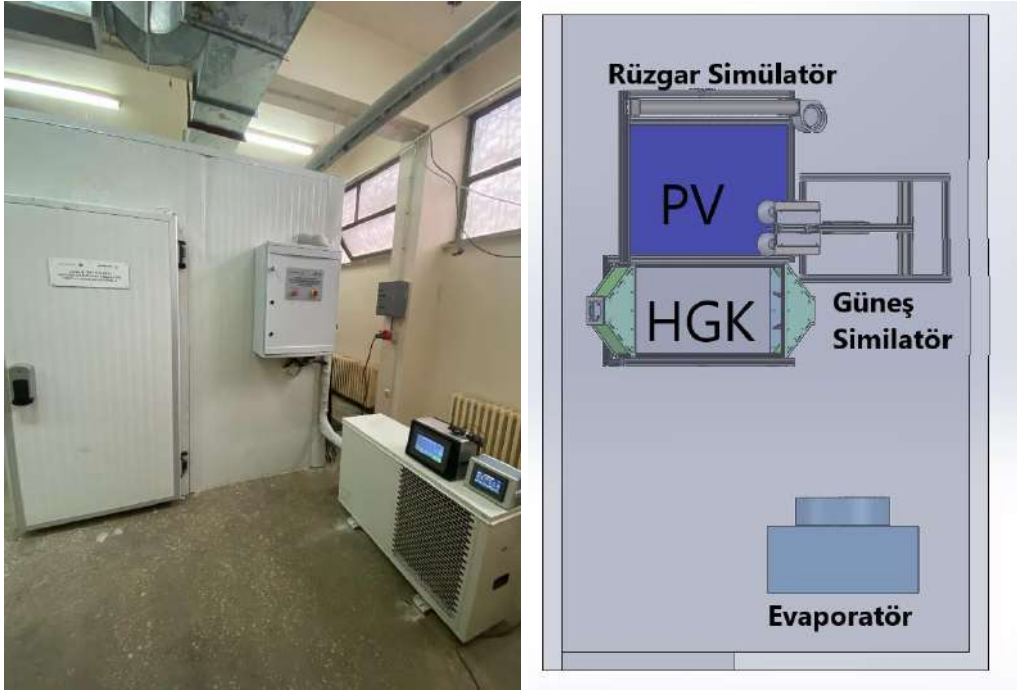
Bu çalışmada, Türkiye'nin Antalya ili için aylık ortalama sıcaklık, nem, hava hızı ve güneş radyasyonu değerleri, T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Bu verilere

dayanarak, Antalya iline ait maksimum ve minimum ölçüm aralıkları belirlenmiş ve test odasında ortam koşulları, bu belirlenen aralıklara göre ayarlanmıştır. Ortam koşulları altında güneş panellerinin enerji performansı gözlemlenmiştir. Örneğin, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 2022 yılı Aralık ayında Antalya ili için ölçülen ortalama sıcaklık 11,7 °C, güneş radyasyonu 429 W/m², nem % 68 ve rüzgâr hızı ise 12,2 m/s olarak kaydedilmiştir. Bu verilere göre test odasında ortamın sıcaklık, nem, güneş radyasyonu ve hava hızı gibi parametreleri ayarlanmış ve Antalya ili için güneş panellerinin performansı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme için, kolektör giriş-çıkış akışkan sıcaklıkları, akışkan hızı, panel yüzeyine gelen ışınım değerleri, panel hücre sıcaklıkları, akım ve voltaj gibi parametreler ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda, panellerin enerji verimlilik değerleri hesaplanmıştır.

Bu çalışma için fotovoltaik (PV) ve havalı güneş kolektörü (HGK) tip ve düzlemsel güneş paneli (DGP) performans test odası tasarlanmıştır. DGP test odası için tasarlanan sistemde havanın nem ve sıcaklık değişimi için nem kontrol ünitesi bir iklimlendirme ünitesi kullanılmıştır. Bu sistem sayesinde hava sıcaklığı -5 +50 °C derece arasında kontrol edilebilmiş ve hava nem değeri %10-%90 değerleri arasında değiştirilebilmiştir. Ayrıca ayarlanabilir fan devir ve yön kontrollü hava şartlandırıcı sistem ile DGP üzerindeki rüzgâr etkisini incelemek için hava istenilen yön ve hız şiddetlerinde üretilebilmiştir. Işınım değerleri ayarlaması için halojen projektör sistemi (HPS) kullanılmıştır. Projektörler sayesinde 0-1500 W/m² arasında ışınım değerleri elde edilebilmiştir. Güneş ışınımının DGP üzerindeki etkilerini incelemek için HPS ye açık çevirim çalışacak güneş takip sistemi (GTS) uygulanmıştır. GTS’de güneş yörünge takibi için güneş takip algoritması (SPA) kullanılmıştır. HPS’nin bağlı olduğu platforma 3 adet sonsuz dişli redüktör yardımı ile iki eksenli hareket kabiliyeti sağlanarak güneş pozisyon similatörü elde edilmiştir. Düzlemsel paneller 2 eksenli hareket edebilen açılı divizörlü taşıyıcılar üzerine monte edilecek ve bu divizörler sayesinde paneller güneş etkin yönü ve panel eğim açısı değerlerine göre konumlandırılabilir. Üretilecek test odası PLC sistem entegreli olup, sisteme girilen iklimsel değerler, HPS konum-zaman değerleri ve panel yön ve eğim açısı değerlerine göre tamamen otonom bir şekilde çalışmıştır.

Tasarlanan güneş paneli performans test odasının iç görünümü ve deney düzeneği Görsel 3’te gösterilmiştir. Test odasında, (a) 40,5 x 91,5 boyutunda havalı güneş kolektörü, (b) 15,5 x10,5 boyutunda 36 hücreden oluşan 115 Watt polikristal fotovoltaik güneş paneli, (c) rüzgâr similatörü ve 0-1500 W/m² aralığında güneş radyasyon değeri elde etmek için (d) 4 adet halojen projektör kullanılmıştır. Oda sıcaklıkları ise iklimlendirme ünitesi yardımıyla +5 ile +30 °C arasında ayarlanmıştır. Test odası havasının sıcaklığı, 30°C ile 80°C arasında değiştirilmiş ve bu işlem için rezistanslı ısıtma ünitesi kullanılmıştır. Panellerin üzerindeki hava akım hızı, üniteye entegre edilen inverter kontrollü fan yardımıyla ayarlanmıştır. Oda havasının sıcaklığını -5°C ile +5°C arasında değiştirmek için buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi uygulanmıştır. Nem değerlerinin kontrolü için nem kontrol ünitesi kullanılmış, saatlik 2 kg/h sıcak buhar üreten ve saatlik 0,5 kg nem alabilen bu ünitenin yardımıyla oda içindeki nem değeri %10 ile %80 arasında değiştirilebilmiştir. Test odasının ısı yalıtımı, 0,025 W/mK ile 0,090 W/mK arasında ısı iletimine sahip yalıtım malzemeleri ile sağlanmıştır. Oda içinde, güneş panellerinin montajı için özel olarak tasarlanmış bir platform kullanılmış ve bu platformda panel eğim açıları, açılı divizörleri ile ayarlanabilmiştir. Bu sayede, her bir panelin çalışması farklı deneysel koşullar altında titizlikle incelenmiştir. Yukarıda açıklanan sistemler ve

ayarlarla, test odasında güneş panellerinin performansı çeşitli çevresel koşullar altında ölçülmüş ve analiz edilmiştir.



Görsel 2. İklimsel test odası



Görsel 3. Güneş paneli performans test odasının iç görünümü ve deney düzeneği

Tasarlanan test odasında Antalya iline ait aylık meteorolojik iklimsel veriler elde edilmiş ve oluşturulan iklimsel koşullar altında HGK ve PV panel performansları incelenmiştir. Antalya ili için T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen aylık ortalama iklimsel veriler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge.2 Antalya ili için 12 aylık ortalama iklimsel verileri

Aylar	Sıcaklık (°C)	Nem (%)	Işınım (W/m ²)	Rüzgâr (m/s)	Güneşlenme Süresi (saat)
Ocak	10	65	487.5	1.875	5.1
Şubat	10.7	64	591.5	1.875	5.8
Mart	12.9	67	897	1.71	6.7
Nisan	16.4	70	1040	1.485	8.0
Mayıs	20.6	67	1280.5	1.305	9.8
Haziran	25.3	60	1352	1.41	11.4
Temmuz	28.5	58	1397.5	1.47	11.8
Ağustos	28.4	61	1274	1.44	11.3
Eylül	25.3	62	1059.5	1.44	9.8
Ekim	20.6	60	799.5	1.485	7.9
Kasım	15.5	66	533	1.65	6.3
Aralık	11.7	68	429	1.83	4.9

2.1. Belirsizlik Analizi

DGP performans test odasında yapılacak olan sıcaklık, hava hızı, nem ve ışınım parametrelerinin ölçülmesi sırasında ortaya çıkacak belirsizlikler için imalat hatalarının, sabit hataların ve rastgele oluşabilecek hataların etkili olduğu düşünülecektir. Belirsizlik oluşturabilecek bu etkenlerin toplam ölçüm belirsizliğine olan etkilerini belirlemek gerekir. Ölçülen değerleri dikkate alarak bu etkilerden kaynaklanan toplam hataların hesabı için Eşitlik 1’te kullanılmıştır.

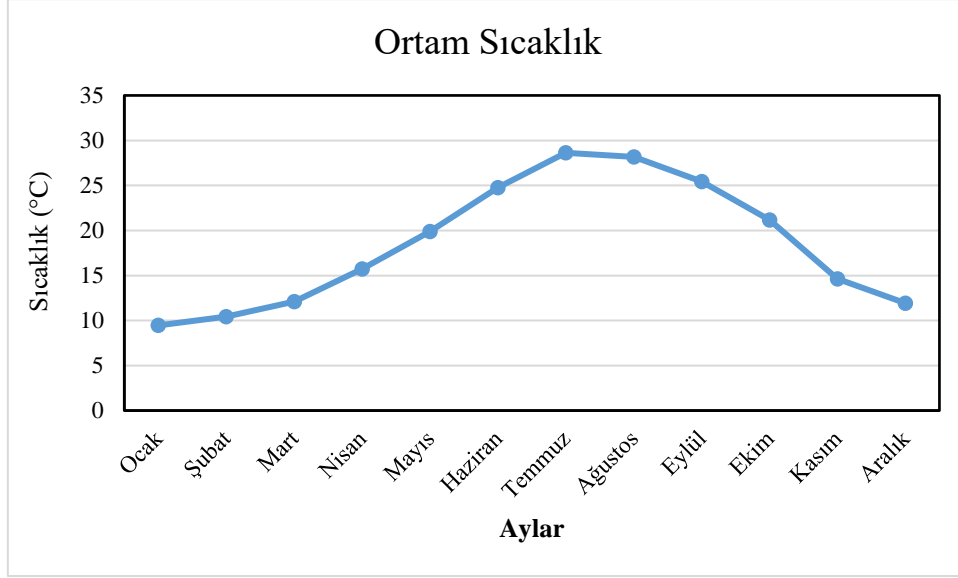
$$W_R = \left[\left(\frac{\delta R}{\delta x_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\delta R}{\delta x_2} W_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\delta R}{\delta x_n} W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

(1)

3. BULGULAR

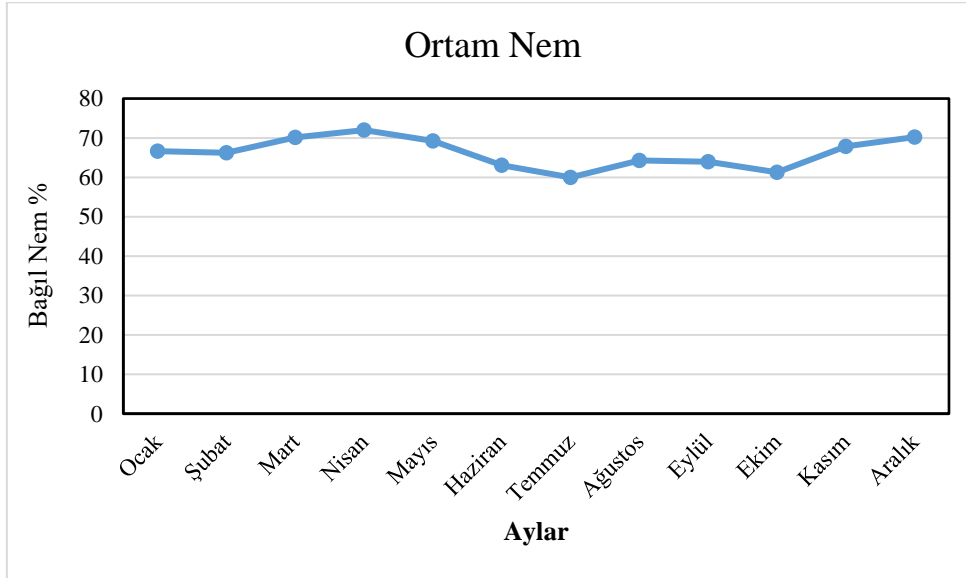
Antalya ili için Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan veriler doğrultusunda, bir iklimsel test odasında yapılan deneysel testlerde, ortam koşulları (sıcaklık, nem, güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı) belirli sınırlar içinde ayarlanarak güneş panellerinin performansı değerlendirilmiştir.

Görsel 4 de iklimsel test odasında 12 aylık Antalya hava sıcaklığı simüle edilmiştir. Görsel 4’ten de görüleceği üzere test odasında Antalya aylık ortalama hava sıcaklık değerleri başarılı bir şekilde elde edilmiştir. En yüksek hava sıcaklığı 28.7 °C olarak Temmuz ayı için elde edilmiş, benzer şekilde en düşük hava sıcaklığı Ocak ayı için 9.46 °C olarak elde edilmiştir.



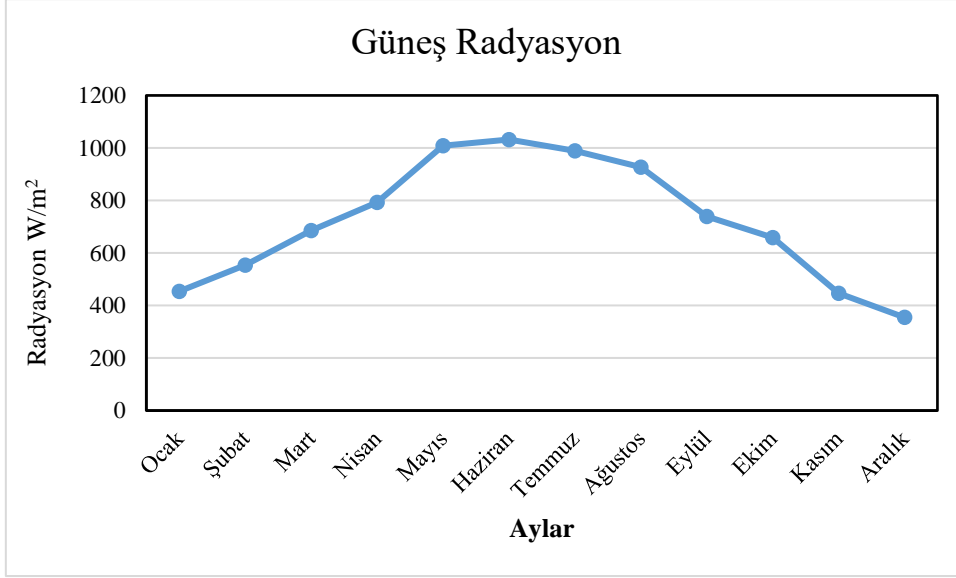
Görsel 4. Hava sıcaklığının aylara göre değişimi

Test odasında Antalya ili için aylık ortalama nem değerlerine yakın nem değerleri elde edilmiştir. Nemlendirme ünitesi ile dışarıdan soğuk su buharı gönderilerek nem değeri %70 değerlerin üzerine çıkarılmıştır. Görsel 5’de test odasında elde edilen Antalya ili için aylık ortalama nem değerleri verilmiştir. En düşük nem değeri %59.9 değerinde Temmuz ayı için elde edilmişken, en yüksek nem değeri %72 ile Nisan ayı için elde edilmiştir.



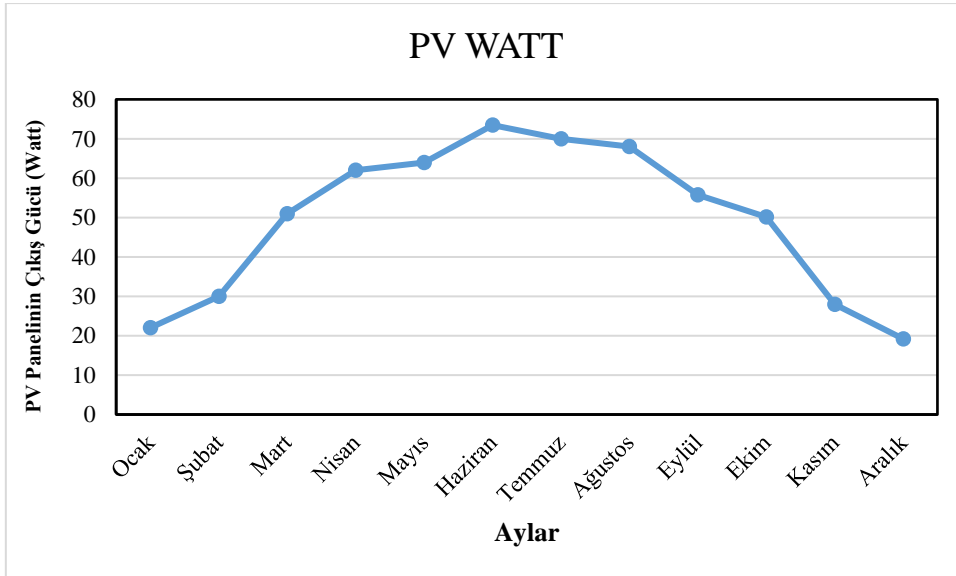
Görsel 5. Bağıl nem değerinin aylara göre değişimi

Test odasında Antalya ili için aylık ortalama güneş radyasyon değerleri güneş simülatör ünitesi ile halojen lambalar kullanılarak elde edilmiştir. Görsel 6’da test odasında elde edilen Antalya ili için aylık ortalama güneş radyasyon değerleri verilmiştir. En düşük güneş radyasyonu 354.8 W/m² değerinde Aralık ayı için elde edilmişken, en yüksek güneş radyasyon değeri 1032.09 W/m² ile Haziran ayı için elde edilmiştir.



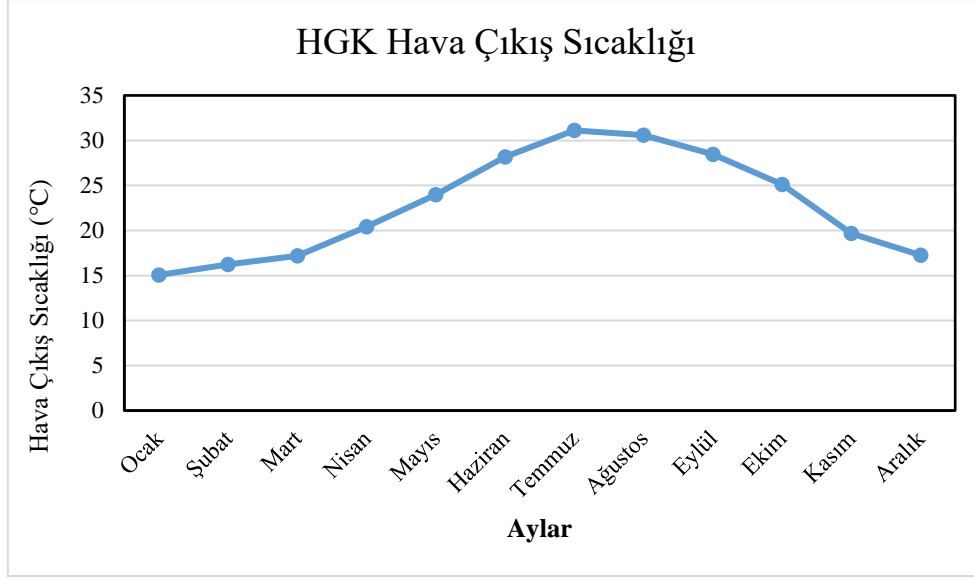
Görsel 6. Işınım değerinin aylara göre değişimi

PV panel ve HGK için Antalya iklim koşullarının oluşturulduğu test odasında performans deneyleri yapılmıştır. Deneyler Çizelge 2 de aylık güneşlenme süreleri boyunca gerçekleştirilmiştir. Her ay için güneşlenme süresine göre yapılan deneylerde PV panelin ürettiği elektriksel güç değeri olan PV Watt değeri Görsel 7’de verilmiştir. En düşük PV Watt 19.21 Watt değerinde Aralık ayı için elde edilmişken, en yüksek PV Watt değeri 73.47 Watt ile Haziran ayı için elde edilmiştir.



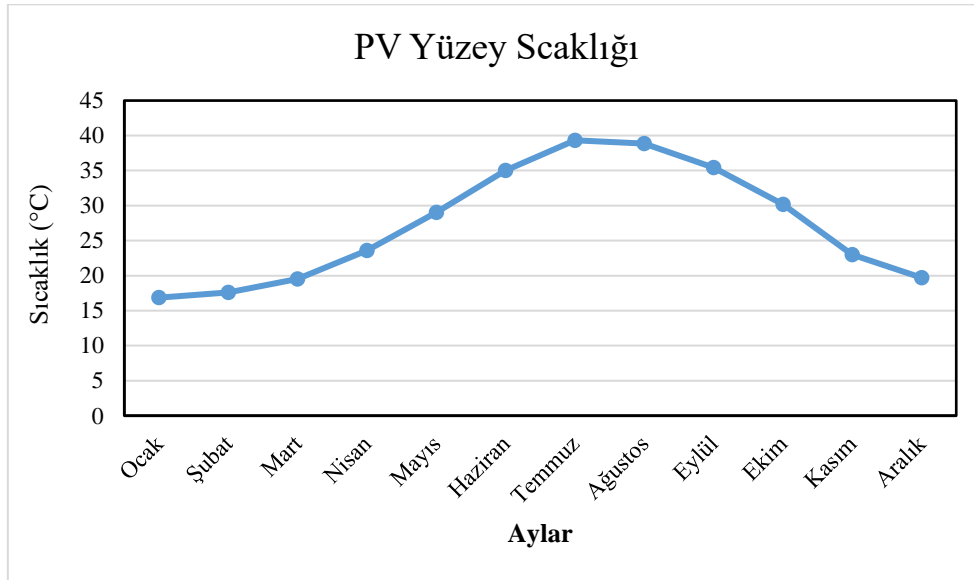
Görsel 7. PV panel çıkış gücünün aylara göre değişimi

Test odasında Antalya iline ait her ay için güneşlenme süresine göre yapılan deneylerde HGK hava çıkış sıcaklığı değerleri Görsel 8’de verilmiştir. En düşük HGK hava çıkış sıcaklığı 15.06 °C değerinde Ocak ayı için elde edilmişken, en yüksek HGK hava çıkış değeri 31.12 °C ile Temmuz ayı için elde edilmiştir. Bu verilere göre en yüksek HGK hava çıkış sıcaklığına sahip aylar Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları olmuştur.



Görsel 8. Hava çıkış sıcaklığının aylara göre değişimi

Antalya iline ait 12 aylık iklimsel parametrelere göre test odasında yapılan deneylerde PV panelin yüzey sıcaklığı değerleri Görsel 9’da verilmiştir. En düşük PV yüzey sıcaklığı 16.86 °C değerinde Ocak ayı için elde edilmişken, en yüksek PV yüzey sıcaklık değeri 39.33 °C ile Temmuz ayı için elde edilmiştir. Bu verilere göre en yüksek PV yüzey sıcaklığına sahip aylar Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları olmuştur.



Görsel 9. Yüzey sıcaklığının aylara göre değişimi

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

DeneySEL ölçümler sonucunda, güneş panellerinin enerji verimliliği üzerine yapılan analizler, panelin giriş-çıkış akışkan sıcaklıkları, panel yüzeyine gelen ışınım, PV panel yüzey sıcaklıkları ile PV Watt ve HGK hava çıkış sıcaklığı değerleri arasında doğrusal bir ilişki olduğunu

göstermiştir. Bu veriler ışığında, güneş ışığının enerjiye dönüşüm verimliliği ile çevresel faktörlerin etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- Antalya ili için 12 aylık iklim koşulları elde edilmiş ve PV panel ve HGK panelin enerji üretim potansiyelleri incelenmiştir.
- PV panel için Antalya iklim koşullarında neredeyse tüm aylarda elektrik enerjisi üretimi görülmüştür. En düşük anlık elektrik enerjisi üretimi 19.21 Watt ile Aralık ayında, en yüksek anlık elektrik enerjisi üretimi 73.46 Watt ile Temmuz ayında elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda Antalya ilinin PV panel kullanımına oldukça uygun iklim şartlarına sahip olduğu gözlemlenmiştir.
- HGK panel için Antalya iklim koşullarında her ay sıcak hava üretimi olmuş fakat küçük endüstriyel uygulamaların kullanımı için sadece Temmuz ve Ağustos aylarında elde edilen ortalama 31.12 °C ve 30.60 °C sıcak hava üretimi gözlemlenmiştir.

Güncel ortam koşullarında, panellerin elde ettiği enerji verimliliği belirli bir seviyeye ulaşırken, hava koşullarının özellikle nem oranının panel performansına önemli derecede etki ettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, güneş ışınımının arttığı durumlarda panel verimliliği de orantılı olarak yükselmiştir. Akışkan hızı ve hücre sıcaklıklarındaki değişikliklerin de panelin enerji verimliliği üzerindeki etkisi dikkate alınarak, güneş panellerinin performansını artırmak için belirli parametrelerin optimize edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Bu bulgular, Antalya ili gibi güneşli bölgelerde güneş panellerinin performansını daha verimli hale getirmek için çevresel koşulların optimize edilmesinin önemini vurgulamaktadır. Elde edilen veriler, yenilenebilir enerji sistemlerinin etkinliğini artırmak ve enerji verimliliği sağlamak amacıyla yapılacak iyileştirmeler için yol gösterici olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 123M591 numaralı proje kapsamında imal edilen güneş paneli test odası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm yazarlar desteklerinden ötürü TÜBİTAK'a teşekkür etmektedirler.

KAYNAKÇA

- [1].Canka Kılıç, Fatma., Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri, Engineer & The Machinery Magazine, Aralık,25,12,2015.
- [2].GEPA. 2015. <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, (Erişim tarihi: 12.11.2015).
- [3].TMMOB Makina Mühendisleri Odası., “Türkiye'nin Enerji Görünümü,”Ankara 2014 .
- [4].Ji, Weian, et al., Experimental study of a direct expansion solar-assisted heat pump (DX-SAHP) with finned-tube evaporator and comparison with conventional DX-SAHP, Energy and Buildings 207,Ocak, 15,01,2020.

- [5].STANEK, Bartosz, et al. An experimental study on parabolic trough collector in simulated conditions by metal-halide solar radiation simulator. Archives of Thermodynamics, 2022.
- [6].HOSSEINI, Seyyed Ahmad, KERMANI, Ali M.; ARABHOSSEINI, Akbar. Experimental study of the dew formation effect on the performance of photovoltaic modules, Renewable Energy, Ocak, 2019.
- [7].SOWMY, Daniel Setrak ARA, Paulo José Schiavon; PRADO, Racine TA. Uncertainties associated with solar collector efficiency test using an artificial solar simulator, Renewable Energy, Ağıustos, 2017.

FOTOVOLTAIK GÜNEŞ PANALİ PERFORMANSININ İKLİMSEL TEST ODASINDAKİ İNCELENMESİ ve MAKİNE ÖĞRENMESİ ALGORİTMALARI ile MODELLENMESİ

Fatma PAPTAYA

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, 231120105@firat.edu.tr -
0009-0005-2277-6170

Doç. Dr. Mehmet DAŞ

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, m.das@firat.edu.tr - 0000-
0002-4143-9226

Prof. Dr. Ebru AKPINAR

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, ebruakpinar@firat.edu.tr -
0000-0003-0666-9189

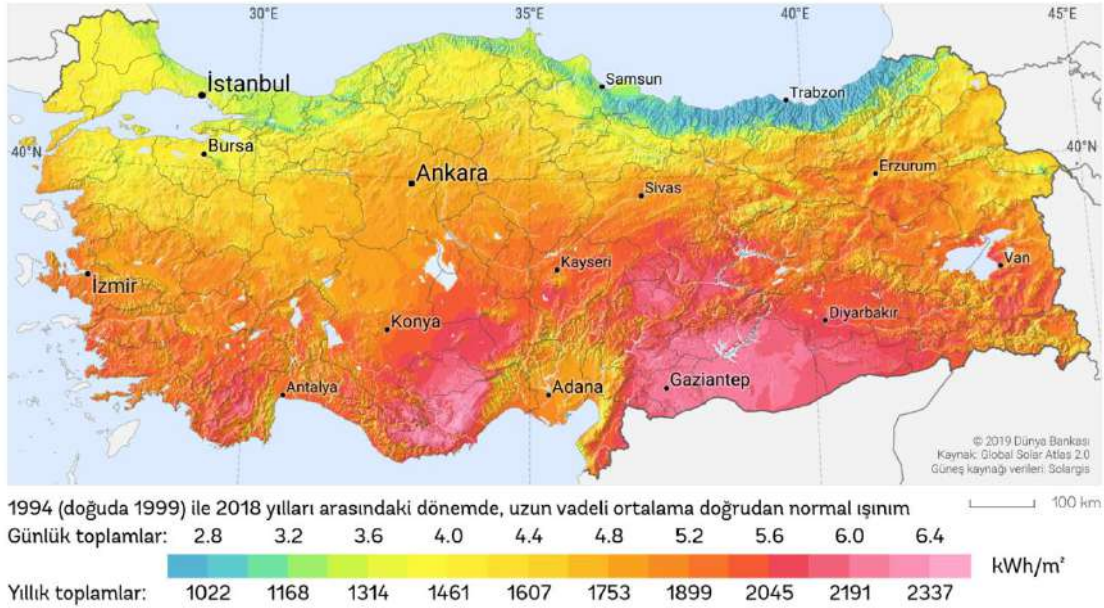
ÖZET

Bu çalışma, bir iklimsel test odasında, hava ısıtmalı sistemler ile fotovoltaik (PV) güneş panelinin enerji verimlilik değerlerinin deneysel olarak incelenmesini ve elde edilen verilerin makine öğrenmesi algoritmaları ile modellenmesini kapsamaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinin performansı, çevresel koşulların değişkenliğinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu bağlamda, Türkiye'nin Antalya ili için T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen aylık ortalama sıcaklık, nem, hava hızı ve güneş radyasyonu verilerine dayanarak, test odasında ortam koşulları, belirlenen maksimum ve minimum ölçüm aralıklarına göre ayarlanmıştır. Çalışma sırasında farklı ışınım seviyeleri ve ortam sıcaklıklarında deneysel ölçümler yapılmış ve bu koşullar altında güneş panellerinin enerji performansı gözlemlenmiştir. Test odasındaki polikristal PV panelin elektrik üretim verimliliği analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlar, PV panelin elektrik üretim değeri temel parametreleri belirlemek için kullanılmış ve bu veriler doğrultusunda makine öğrenmesi modelleri geliştirilmiştir. Destek vektör makineleri (DVM), yapay sinir ağları (YSA) ve karar ağaçları (KA) gibi farklı algoritmalar kullanılarak elektrik üretim tahmin modelleri oluşturulmuştur. Modellerin doğruluk performansları değerlendirilmiş ve en uygun algoritma seçimi yapılmıştır. Elde edilen bulgular, güneş enerjisi sistemlerinin iklim koşullarına bağlı verimliliğini artırmak için kullanılabilir. Bu çalışma, enerji sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonunda yenilikçi çözümler sunmayı hedeflemektedir. Ayrıca, makine öğrenmesi tabanlı modelleme yöntemlerinin, enerji sistemleri için güvenilir bir tahmin aracı olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur. Çalışma sonuçlarının hem akademik hem de endüstriyel uygulamalara katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Güneş panelleri, Test odası, Yapay zekâ, Makine öğrenmesi
1. GİRİŞ

Artan enerji ihtiyacı ve fosil yakıtların çevresel etkileri, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırmıştır. Güneş enerjisi, çevre dostu, sürdürülebilir ve çeşitli uygulamalara sahip bir

enerji kaynağı olarak dikkat çekmektedir. Fotovoltaik (PV) güneş panelleri, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürürken, hava ısıtmalı güneş panelleri termal enerji üretiminde kullanılmaktadır. Bu sistemlerin verimliliği, çevresel faktörlerden büyük ölçüde etkilenmektedir ve bu durum, enerji sistemlerinin performansını anlamada önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Güneş enerji sistemlerinde ilk yatırım maliyetinin düşük olması, Türkiye genelindeki illerde güneş ışınımının oldukça verimli olması, güneş enerjisinin çevreci ve bedava bir enerji kaynağı olması bu sistemin avantajlarıdır. Ancak bu sistemin bir dezavantajı da vardır o da güneş enerjisi sürekli bir enerji değildir.

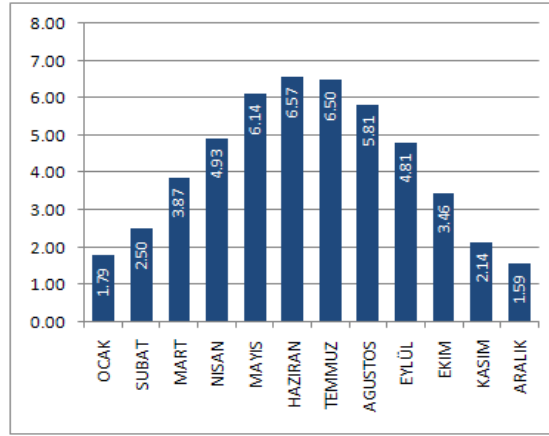


Görsel 1. Türkiye Doğrudan Güneş Işınım Potansiyeli (<https://solargis.com/>)

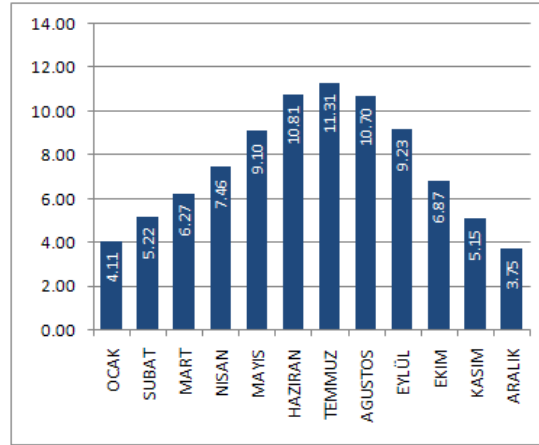
Görsel 1'e göre Türkiye'nin en fazla güneş ışınım değerlerine sahip bölgelerini Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege, Marmara ve Karadeniz olarak sıralayabiliriz. Bu bölgeler coğrafi olarak güneşlenme süresi bakımında en iyi sonuç alınabilen yerlerdir. Türkiye' de illere göre güneşlenme süreleri incelendiğinde (Görsel 3) ise en fazla ve en az güneş alan ayların temmuz ve aralık ayları olduğu görülmektedir. İllere göre güneş ışınım değerleri göz önünde bulundurulduğunda (Görsel 2) Karadeniz bölgesi dışında yılda birim metre kareden 1.100 kWh'lik enerji üretilebileceği gözlemlenmektedir.

Çizelge 1, Türkiye'de yenilenebilir enerji kurulu gücü göstermektedir. 2024 yılı Temmuz ayı sonu itibarıyla Türkiye'nin kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımının; %28,5'i hidrolik enerji, %21,9'u doğal gaz, %19,3'ü kömür, %10,9'u rüzgâr, %15,6'sı güneş, %1,5'i jeotermal ve %2,4'ü de diğer kaynaklar şeklinde sıralandığı ifade edilebilir[2]. Türkiye'nin mevcut kullanılan enerji kaynakları içerisinde düşük bir paya sahip güneş enerjisinin yaygın kullanıma sahip olmaması, yüksek maliyet, uzun amortisman süresi ve kişilerin güneş enerjisi sistemleri performans ve kullanımları hakkında yeterince bilgi edinmemesi gibi sebepler ile açıklanabilir. Bunların haricinde fosil kökenli enerji maliyetlerinin giderek artması insanları

alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Bu durum neticesinde güneş enerjisi kullanımının giderek artacağı öngörülmektedir.



Görsel 2. Türkiye Global Radyasyon Değerleri (KWh/m2) [1]



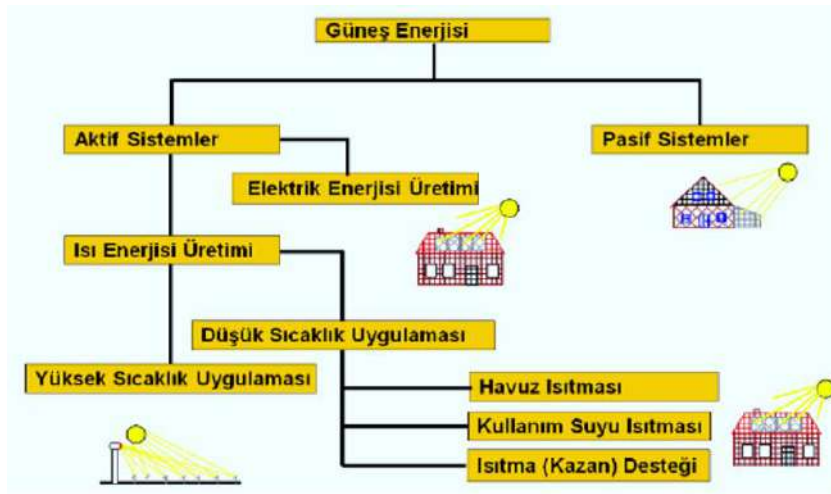
Görsel 3. Türkiye Güneşlenme Süreleri (Saat) [1].

Çizelge 1: Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü (MW)[2]

Yıllar	Hidroelektrik	Rüzgâr	Güneş	Jeotermal	Biyokütle
2011	17137	1729	-	114	115
2012	19609	2261	-	162	159
2013	22289	2760	-	311	224
2014	23673	3630	40	405	288
2015	25868	4503	249	624	362
2016	26681	5751	833	821	489
2017	27273	6516	3421	1064	634
2018	28291	7005	5063	1283	811
2019	28503	7591	5995	1515	1163
2020	30984	8832	6667	1613	1485
2021	31493	10607	7816	1676	2035
2022*	31558	10976	8479	1686	2172

Güneş enerjisi günümüzde farklı uygulama alanlarına sahiptir. Görsel 4’te güneş enerjisinin genel kullanım alanları verilmiştir. Güneş enerji sistemleri içerisinde en çok kullanılan

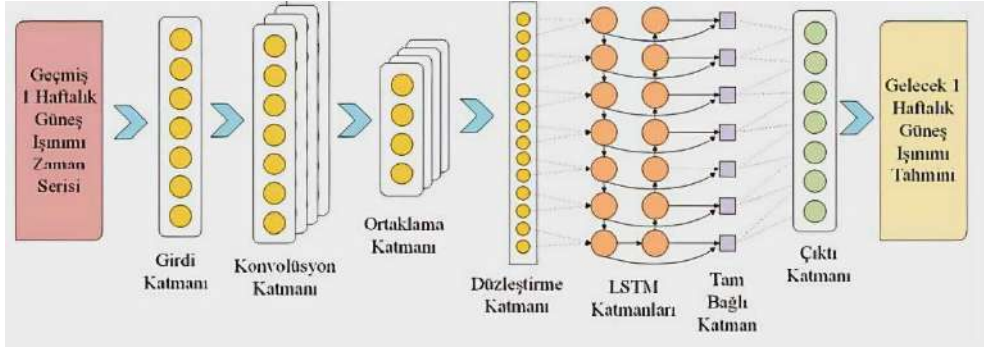
düzlemsel güneş panelleridir. Düzlemsel güneş panelleri (DGP) ısı ve elektrik üreten paneller olmak üzere iki guruba ayrılır[3]. Isı üreten DGP'ler, hava ve su ısıtıcı panellerdir. Isı üreten paneller çevre şartlarına göre ortalama %40 ile %70 enerji verim değerleri arasında çalışırlar. Elektrik üreten mono veya poli-kristal güneş panelleri ortalama %15 verim ile çalışırlar. DGP performansını etkileyen en önemli faktörler panelin kurulduğu bölgenin güneş radyasyon değeri, panel eğim açısı ve çevresel faktörlerdir (sıcaklık, nem ve rüzgâr)[4]. Güneşlenme süresi, radyasyon değerleri ve güneş panellerinin kurulduğu bölgenin iklim şartları panellerin termal performansını belirleyen önemli bir parametredir. DGP tasarımı, kurulumu ve kullanımı açısından panel termal enerji performans değeri oldukça önemlidir.



Görsel 4. Güneş enerjisinin kullanım alanları

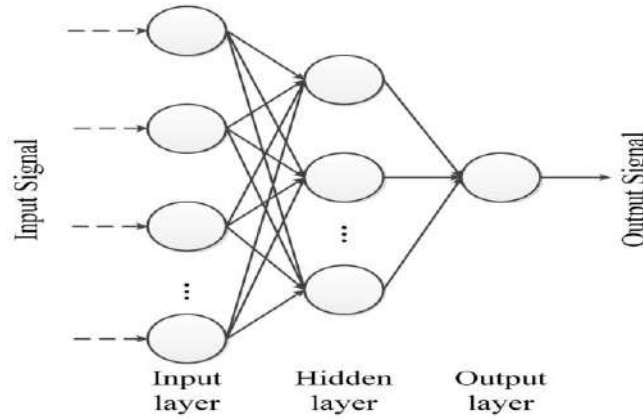
Güneş enerjisinin sürdürülebilirliği ve çevre dostu oluşu, bu alandaki araştırmaları giderek daha da önemli hale getirmektedir. PV panellerin analizleri, bu sistemin tasarımına ilişkin karşılaştırmalar ve performans tahminlerinin doğruluğunu artırmaya yönelik yeni yöntemler, literatürde geniş bir ilgi oluşturmuştur.

Eşlik ve ekip arkadaşları, güneş ışınımı tahmini için CNN ile LSTM mimarilerini bir araya getiren yenilikçi bir model geliştirmişlerdir. Bu modelin performansı, ARIMA istatistiksel yöntemi ve farklı makine öğrenmesi teknikleri olan Rastgele Orman, Karar Ağaçları ve K-En Yakın Komşu ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Çalışmada, Afyon Kocatepe Üniversitesi'nde yer alan bir piranometre aracılığıyla saatlik ölçülen güneş ışınımı verileri kullanılmaktadır. Deneysel bulgular, CNN-LSTM modelinin, RMSE, MAE, MAPE ve r^2 değerlendirme ölçütleri açısından, tahminlerde en düşük başarıyı gösteren Karar Ağaçları modeline göre sırasıyla %16,92, %17,25, %17,24 ve %22,89 daha etkili sonuçlar ürettiğini göstermektedir [5].



Görsel 5. Önerilen hibrit derin öğrenme modeli akış şeması

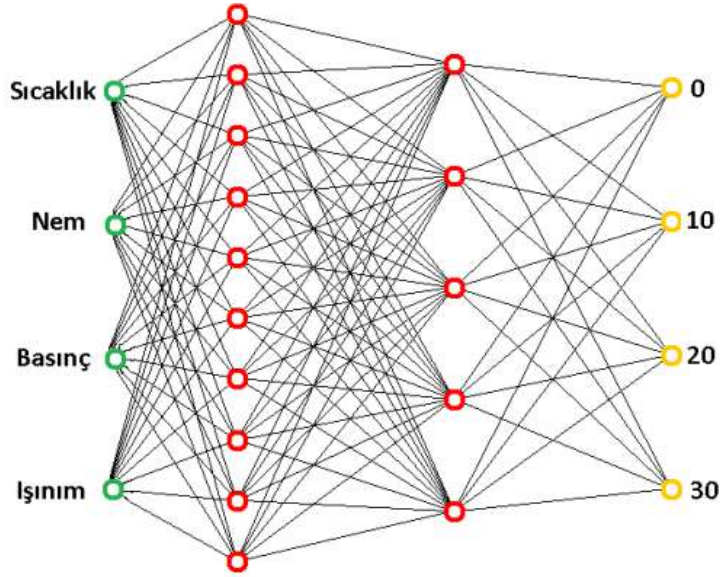
Zhu ve çalışma arkadaşları, fotovoltaik (PV) enerji santralleri için güç tahmini yaparken, fotovoltaik gücün değişken niteliklerinden ötürü geleneksel doğrusal veya zaman serisi temelli tahmin yöntemleri yerine, dalgacık ayrıştırma (WD) ve yapay sinir ağlarının (YSA) avantajlarını bir araya getiren yenilikçi bir yaklaşım geliştirmişlerdir. YSA'nın doğrusal olmayan ilişkileri işleme kapasitesi sayesinde, teorik güneş ışınımı ve meteorolojik değişkenler, WD ve YSA tabanlı hibrit modelin girdileri olarak belirlenmiştir. Bu araştırma, WD ve YSA kullanarak PV enerji santrallerinin güç çıkışını tahmin etmeyi amaçlayan bir metodoloji sunmaktadır. PV güç çıkış serisinin periyodik ve durağan olmayan doğası nedeniyle, çıkışın çok ölçekli ayrıştırmasını gerçekleştirmek için dalgacık analizi tekniği benimsenmiştir. Ayrıca, YSA yardımıyla çeşitli sinyal katmanlarına dayalı tahmin modelleri oluşturularak fotovoltaik santralin tahmin sonuçlarını elde etmişlerdir [6].



Görsel 6. Üç katmanlı yapay sinir ağı

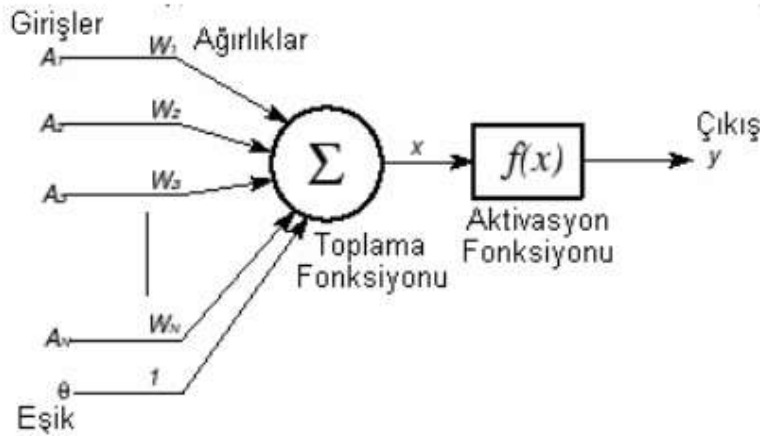
Akal ve ekibi, kurdukları fotovoltaik panellerden elde edilen verileri (sıcaklık, nem, basınç, ışınım) kullanarak güç değerlerini tahmin etmek için ileri beslemeli geriye yayımlı yapay sinir ağları ve K-En Yakın Komşu (KNN) yöntemlerinden yararlanmışlardır. Gerçek saha koşullarında toplanan panel verileri her iki yöntemle eğitilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, panelin güç değerleri en yüksek %98,7945 doğruluk oranıyla geliştirilen yapay sinir ağı modeli aracılığıyla sınıflandırılmıştır. Bu çalışma, güneş enerjisi tahmini için oluşturulan makine öğrenmesi modellerinin yüksek performansa sahip olduğunu ve gerçek verilere oldukça yakın sonuçlar üretebildiğini göstermektedir. Ayrıca, belirlenen yük talebine

göre değişik özellikteki lokasyonlarda her iki yapay zeka modelinin de kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır [7].



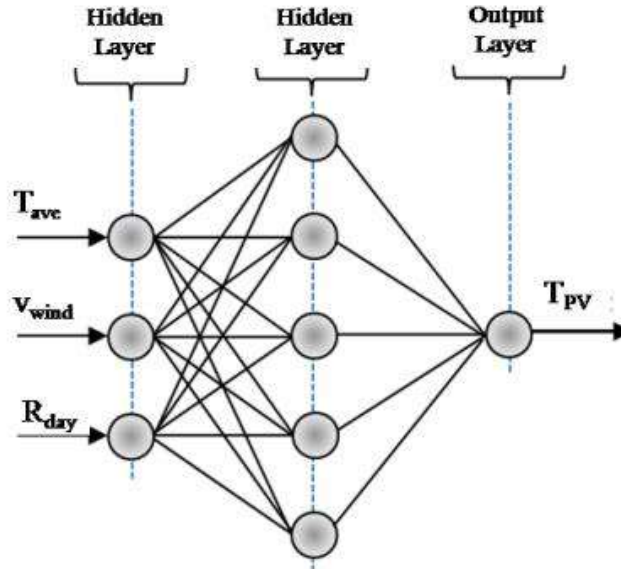
Görsel 7. Yapay sinir ağları modelinin grafiksel gösterimi

Arslan ve arkadaşları, Mersin ilinde bir yıl boyunca her gün toplam global güneş ışınlarını kullanarak Yapay Sinir Ağı (Yapay Sinir Ağı - ANN) modelinin tahmin modelinin değerlendirmesini yapmıştır. Çalışmada ayrıntıları ANN modelinin performansı, r^2 değeri 0,75 ve ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) değeri %27,67 olarak hesaplanmıştır[8].



Görsel 8. YSA'nın Süreç Elemanları

Coşkun ve arkadaşları Rize'de, fotovoltaik panellerin yüzey bilgisayarlarını tahmin etmek için yeni bir Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli kullanmışlardır. Bu modelin eğitim sürecinde dış sıcaklık, güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı giriş verileri olarak kullanmışlardır. YSA, giriş katmanındaki bu değişkenlere dayanarak fotovoltaik panelin yüzeyin silinmesiyle modellenmiştir. Çalışmada üç farklı program denemiş ve sonuçlar karşılaştırmışlardır. En iyi tahmini Levenberg- Marquardt (LM) algoritmasının verdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca YSA temelli bu yaklaşımın, geleneksel bağıntı yöntemlerine kıyasla yüzey sıcaklık tahminlerinde daha iyi performans sergilediğini gözlemlemişlerdir[9].



Görsel 9. Panel yüzey sıcaklığının dış sıcaklığa göre değişimi

İklimsel test odaları, çeşitli sektörlerde kullanılan ve çevresel koşulları simüle edip kontrol etmeye yarayan özel test ekipmanlarıdır. Bu odalar, ürünlerin farklı iklim senaryolarında performansını, dayanıklılığını ve güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılır[10].

Bu odalar, otomotiv, havacılık, elektronik, ilaç ve gıda işleme gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılır.

Başlıca Kullanım Alanları:

- **Ürün Güvenilirliği ve Dayanıklılığı:** Ürünlerin aşırı sıcak, çok soğuk, düşük veya yüksek nem gibi koşullarda nasıl performans gösterdiğini anlamak için testler yapılır.
- **Kalite Güvencesi:** Üreticiler, piyasaya sürmeden önce ürün kalitesini artırmak ve olası sorunları tespit etmek için bu odalardan faydalanır.
- **Hassas Kontrol:** İzole edilmiş bir ortamda sıcaklık, nem, ışık ve diğer çevresel faktörlerin kontrolü sağlanarak tekrarlanabilir testler gerçekleştirilir[11].

Ji ve arkadaşları, güneş destekli ısı pompası sisteminin donma koşullarındaki performansını incelemek için bir test odası tasarlamışlardır. Sistemi, 7 °C ila -3 °C ortam sıcaklıkları, %50, %70 ve %90 bağıl nem ve 0 W/m², 100 W/m² güneş ışınımı ile çeşitli donma koşulları altında test etmişlerdir. Tasarladıkları test odasında kullandıkları klima santrali kontrol edilebilir hava döngüsü sunan soğutucular, ısıtıcılar ve sabit bir fandan oluşmuştur. Güneş simülatörü olarak sabit halojen lambalar kullanmışlardır[12].

Singh ve arkadaşları, dairesel hava jeti dizilerine sahip iki farklı havalı güneş panellerinin termohidrolik verimini incelemek için laboratuvar ortamında bir test sistemi geliştirdiler. Ortam rüzgârının etkisi incelemek için sabit konumlu bir fan, ortam hava sıcaklığını sabitlemek için bir klima kullanmışlardır. Klimanın ortam havası sıcaklığını hangi aralıkta değiştirdiğinden bahsetmemişlerdir. Güneş simülatöründe her biri 500 W kapasiteli 7 halojen tüp kullanmışlardır. Simülatörü panelin yüzeyine paralel olacak şekilde sabit bir konuma yerleştirmişlerdir[13].

Bu çalışmada, PV paneller performansları bir iklimsel test odasında incelenmiş ve elde edilen veriler makine öğrenmesi algoritmalarıyla modellenmiştir. Araştırmanın amacı, çevresel koşulların enerji verimliliği üzerindeki etkilerini belirlemek, bu sistemlerin performansını tahmin etmek ve optimizasyon süreçlerinde kullanılacak araçlar geliştirmektir.

2. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada, Türkiye'nin Antalya ili için aylık ortalama sıcaklık, nem, hava hızı ve güneş radyasyonu değerleri, T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Bu verilere dayanarak, Antalya iline ait maksimum ve minimum ölçüm aralıkları belirlenmiş ve test odasında ortam koşulları, bu belirlenen aralıklara göre ayarlanmıştır. Ortam koşulları altında PV güneş panelinin enerji performansı gözlemlenmiştir. Deneysel prosedüre örnek verilecek olursa, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 2022 yılı Aralık ayında Antalya ili için ölçülen ortalama sıcaklık 11,7 °C, güneş radyasyonu 429 W/m², nem % 68 ve rüzgâr hızı ise 12,2 m/s olarak kaydedilmiştir. Bu verilere göre test odasında ortamın sıcaklık, nem, güneş radyasyonu ve hava hızı gibi parametreleri ayarlanmış ve Antalya ili için güneş panellerinin performansı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme için, panel yüzeyine gelen güneş radyasyon değerleri, panel hücre sıcaklıkları, ortam nemi ve ortam sıcaklığı ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda elde edilen veriler ile veri setleri oluşturulmuş ve bu veri setleri kullanılarak PV panelin elektriksel güç üretimi PV Watt değeri 3 farklı makine öğrenmesi algoritması ile modellenmiştir.

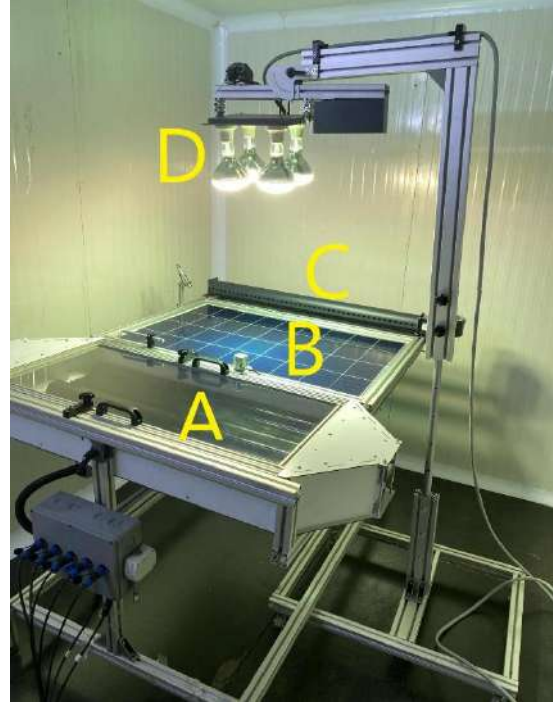
DGP test odası için tasarlanan sistemde havanın nem ve sıcaklık değişimi için nem kontrol ünitesi bir iklimlendirme ünitesi kullanılmıştır. Bu sistem sayesinde hava sıcaklığı -5 +50 °C derece arasında kontrol edilebilmiş ve hava nem değeri %10-%90 değerleri arasında değiştirilebilmiştir. Ayrıca ayarlanabilir fan devir ve yön kontrollü hava şartlandırıcı sistem ile DGP üzerindeki rüzgar etkisini incelemek için hava istenilen yön ve hız şiddetlerinde üretilebilmiştir. Işınım değerleri ayarlaması için halojen projektör sistemi (HPS) kullanılmıştır. Projektörler sayesinde 0-1500 W/m² arasında ışınım değerleri elde edilebilmiştir. Güneş ışınımının DGP üzerindeki etkilerini incelemek için HPS ye açık çevirim çalışacak güneş takip sistemi (GTS) uygulanmıştır.

Test odasının dış görünümü Görsel 10'da verilmiştir. Tasarlanan güneş paneli performans test odasının iç görünümü ve deney düzeneği Görsel 11'de gösterilmiştir. Test odasında, (a) 40,5 x 91,5 boyutunda havalı güneş kolektörü (HGK), (b) 15,5 x10,5 boyutunda 115 Watt gücünde 36 hücreden oluşan fotovoltaik (PV) güneş paneli, (c) rüzgâr simülatörü ve 0-1500 W/m² aralığında güneş radyasyon değeri elde etmek için (d) 4 adet halojen projektör kullanılmıştır. Oda sıcaklıkları ise iklimlendirme ünitesi yardımıyla +5 ile +30 °C arasında ayarlanmıştır. Test odası havasının sıcaklığı, 30°C ile 80°C arasında değiştirilmiş ve bu işlem için rezistanslı ısıtma ünitesi kullanılmıştır. Oda havasının sıcaklığını -5°C ile +50°C arasında değiştirmek için buhar sıkıştırma soğutma sistemi uygulanmıştır. Nem değerlerinin kontrolü için nem kontrol ünitesi kullanılmış, saatlik 2 kg/h sıcak buhar üreten ve saatlik 0,5 kg nem alabilen bu ünitenin yardımıyla oda içindeki nem değeri %10 ile %80 arasında değiştirilebilmiştir. Test odasının ısı

yalıtımı, 0,025 W/mK ile 0,090 W/mK arasında ısı iletimine sahip yalıtım malzemeleri ile sağlanmıştır. Oda içinde, güneş panellerinin montajı için özel olarak tasarlanmış bir platform kullanılmış ve bu platformda panel eğim açıları, açı divizörleri ile ayarlanabilmiştir. Bu sayede, her bir panelin çalışması farklı deneysel koşullar altında titizlikle incelenmiştir.



Görsel 10. İklimsel test odası



Görsel 11. Deney düzeneği

2.1. Yapay Zekâ Yöntemleri

Bu çalışmada geleneksel analiz yöntemlerinin sınırlamalarını aşmak için, yapay zeka ve makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımlar kullanılmıştır.

2.1.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin çalışma mekanizmalarını taklit etme amacı güden bir yapıdır. Bu modeller, girdi alanındaki verileri belirli bir fonksiyon aracılığıyla çıkış alanındaki karşılıklarıyla ilişkilendirir [14]. YSA'lar, örüntü tanıma, tahmin yapma ve sınıflandırma gibi birçok alanda kullanılmaktadır. İnsan benzeri bir öğrenme sürecine sahip olan bu ağlar, örneklerden öğrenme yoluyla geliştirilir; bu sebeple veri setleri, eğitim ve test grupları olarak iki kısma ayrılır.

2.1.2. Karar Ağaçları

Karar ağaçları (KA), özellikle son yıllarda popüler hale gelen bir sınıflandırma ve örüntü tespiti yöntemidir. Bu teknik, ağaç yapıları için kullanılan kuralların basit ve anlaşılır olmasından dolayı tercih edilmektedir. KA, sınıflandırma işlemlerini adım adım ve sıralı bir şekilde gerçekleştirir [15]. Temel yapısı, düğümler, dallar ve yapraklar olarak adlandırılan üç ana

bölümden oluşmaktadır. Buradaki her öznelik (örneğin, sıcaklık, nem) ayrı bir düğümle temsil edilir. Dallar ve yapraklar ise bu yapının ek elemanlarıdır ve ağaçtaki kök en üstte bulunurken, yapraklar en alttadır. Eğitim verileri üzerinden oluşturulan bir KA yapısında, belirli sorular sorulup yanıtlar alınarak en hızlı sonuca ulaşılması amaçlanır, bu sayede KA, verilen cevaplar üzerinden karar kuralları oluşturur. Sınıflandırma işlemi, ilk olarak kök düğümde sorularla başlar ve sonunda dalları olmayan düğümlere veya yapraklara ulaşınca kadar sürer [16].

2.1.3. Destek vektör makineleri (DVM)

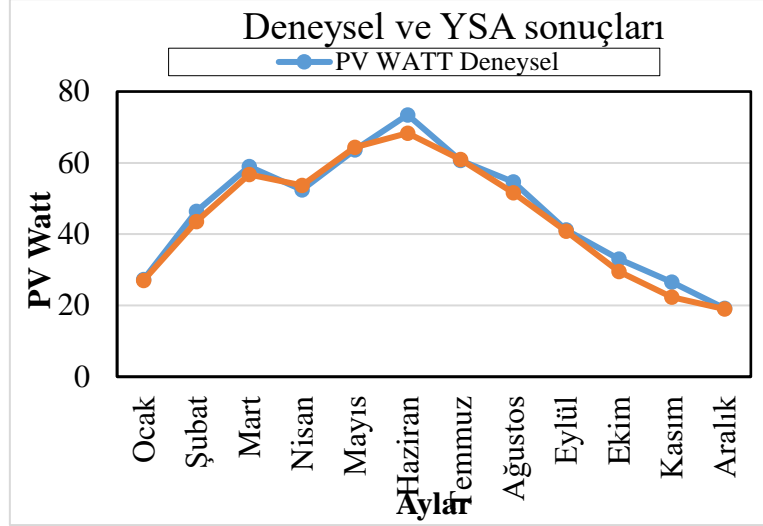
Destek vektör makineleri (DVM), 1995 yılında Vapnik tarafından geliştirilen bir makine öğrenmesi tekniğidir ve veri odaklı alanlarda yaygın olarak kullanılır. DVM, istatistiksel öğrenme teorisine dayanarak iki veri sınıfını etkin bir şekilde ayırmak için kullanılır. Bu bağlamda, karar sınırları veya hiper düzlemler oluşturulmaktadır. Eğer veri kümesi doğrusalsa, DVM'ler doğrusal bir hiper düzlem belirlerken; doğrusal olmayan durumlar için çekirdek yöntemleri devreye girer.

3. BULGULAR

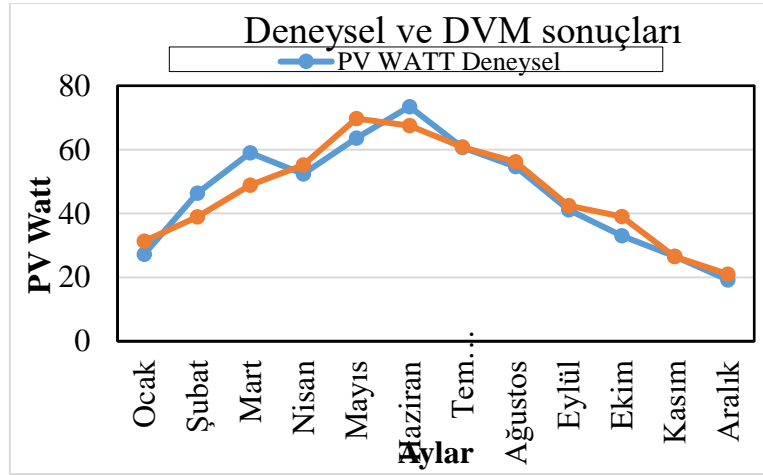
Yapılan yapay zeka modellerinde veri seti olarak kullanılan veri setlerini oluşturmak için test odasında Antalya ili için 12 aylık ortalama değerlere göre iklimsel şartlar oluşturulmuş ve PV panelin elektriksel güç üretim değeri PV Watt deneyleri yapılmıştır. Kullanılan veri seti Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2 ye göre PV Watt değerleri sırası ile YSA, DVM ve KA algoritmaları ile modellenmiş ve sonuçları Görsel 12-14 de verilmiştir.

Çizelge 2. Kurutma Deneylerinde Yapılan Hataların Toplam Değerleri

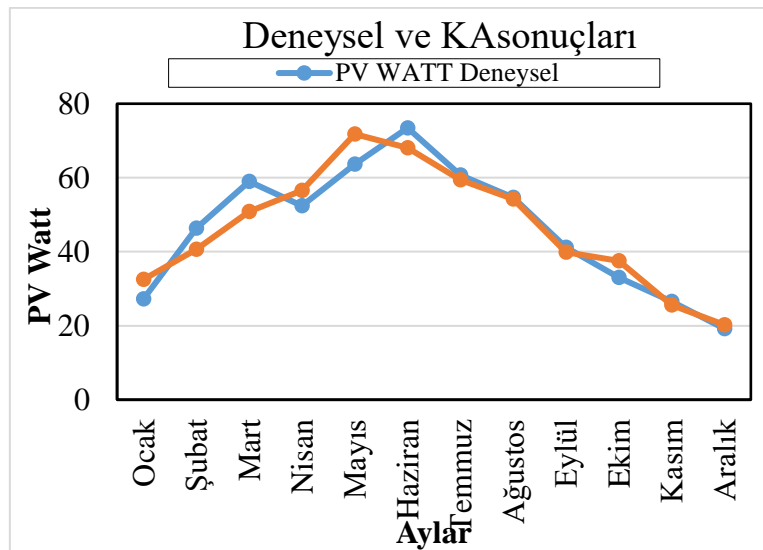
Veri Seti Parametreleri (Giriş)	
Ortam Sıcaklık	°C
Ortam Nem	%
PV Yüzey Sıcaklık	°C
Güneş Radyasyon	W/m ²
HGK Çıkış Sıcaklık	°C
Modellenen Parametre (Çıkış)	
PV Güç	Watt



Görsel 12. PV Watt değerlerinin YSA model sonuçları ile Deney sonuçları

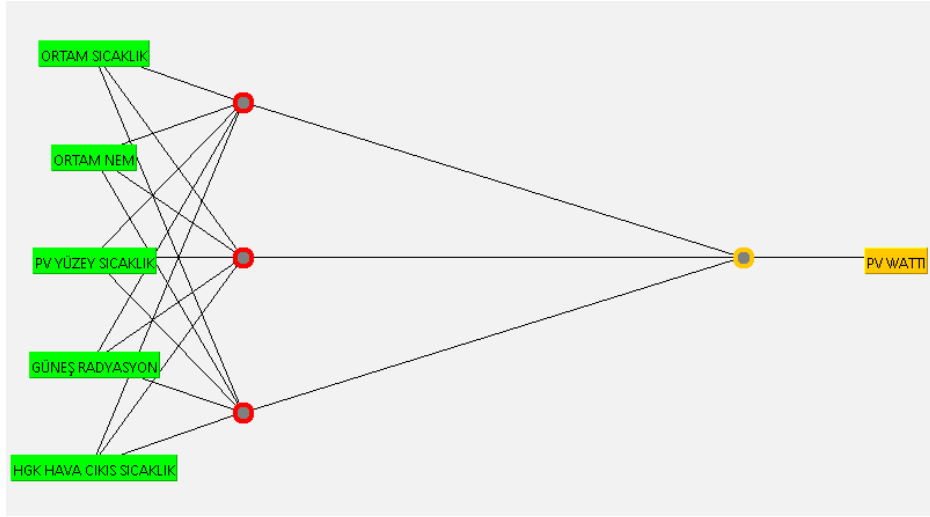


Görsel 13. PV Watt değerlerinin DVM model sonuçları ile Deney sonuçları

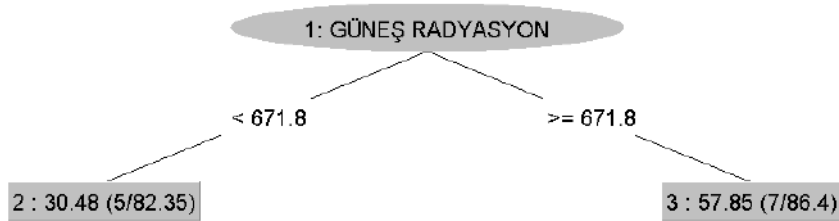


Görsel 14. PV Watt değerlerinin KA model sonuçları ile Deney sonuçları

PV Watt değeri için oluşturulan YSA ağ yapısı ve KA ağ yapısı Görsel 15 ve 16 de verilmiştir. YSA yapısı için 5 giriş ve 1 çıkıştan oluşan ağ kullanılmıştır. KA modelinde ise etkili girdi parametresi olarak güneş radyasyon seçilmiş ve 2 kurala göre model oluşturulup ortalaması alınmıştır.



Görsel 15. YSA yapısı



Görsel 16. KA ağ yapısı

Çizelge 3 de PV Watt değeri için oluşturulan modellerin hata değerleri verilmiştir. Hata analizi için ortalama bağıl hata (MAE) ve kök ortalama karesel hata (RMSE) seçilmiştir. Bu çizelgeye göre en az hata değeri YSA algoritmasına aittir.

Çizelge 1. Yapay Zekâda Modelleri Hata Sonuçları

YSA		DVM		KA	
MAE	2.0005	MAE	3.9367	MAE	3.8556
RMSE	2.5977	RMSE	4.9808	RMSE	4.6946

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, fotovoltaik güneş panelini enerji verimliliği, çeşitli çevresel koşullar altında yapılan deneysel ölçümlerle incelenmiş ve elde edilen veriler, makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak modellenmiştir. Deneysel bulgular, çevresel faktörlerin güneş enerjisi sistemlerinin performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Özellikle, ortam sıcaklıkları, ışınım seviyeleri ve rüzgâr hızının, fotovoltaik panellerin elektrik üretim verimliliği üzerinde belirleyici rol oynadığı gözlemlenmiştir.

Makine öğrenmesi algoritmaları ile geliştirilen enerji verimliliği tahmin modelleri, sistemlerin davranışlarını doğru bir şekilde modelleyebilmiş ve doğruluk oranları yüksek sonuçlar elde edilmiştir. DVM YSA ve KA algoritmaları arasında yapılan karşılaştırmalar, her bir algoritmanın farklı koşullarda farklı performanslar sergilediğini ortaya koymuştur. En iyi doğruluk oranına sahip algoritma, sistem verimliliğini en iyi şekilde tahmin edebilmiş ve enerji üretimi ile termal verimlilik arasındaki etkileşimleri en doğru şekilde modellemiştir. En iyi model YSA ile 2.597 RMSE hata değerinde elde edilmiştir. Genel olarak modellerin hata değerleri yüksektir, fakat daha fazla veri üretilip farklı makine öğrenmesi algoritmaları ile daha az hatalı modeller elde etmek mümkündür.

Çalışma sonuçları, güneş enerjisi sistemlerinin iklimsel faktörlere bağlı olarak verimliliklerinin optimize edilebileceğini ve bu verilerin doğru bir şekilde işlenmesinin, enerji tasarrufu ve verimlilik açısından büyük önem taşıdığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, makine öğrenmesi tabanlı modellerin enerji sistemleri için güvenilir bir tahmin aracı olarak kullanılabileceği ve enerji verimliliğini artırmaya yönelik yenilikçi çözümler sunabileceği sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak, bu araştırma, enerji sistemlerinin tasarımında ve optimizasyonunda iklimsel koşulların dikkate alınarak daha verimli ve sürdürülebilir çözümler geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Çalışmanın bulguları, hem akademik alanda yeni araştırmalar için bir temel oluşturacak hem de endüstriyel uygulamalara yönelik önemli katkılar sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 123M591 numaralı proje kapsamında imal edilen güneş paneli test odası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm yazarlar desteklerinden ötürü TÜBİTAK'a teşekkür etmektedirler.

KAYNAKÇA

- [8].<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, (Erişim tarihi:12.11.2012).
- [9].GÜNAY, Enver; YILDIRIM, Selvi. Yenilenebilir Enerji Kapasitesi Bakımından Türkiye'nin Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Journal of Economics and Research, Eylül,24.09.2024.
- [10]. Koşan, M., Demirtaş, M., Aktaş, M., & Dişli, E., Performance analyses of

sustainable PV/T assisted heat pump drying system. *Solar Energy*, Mart, 15,03,,2020.

- [11]. Praveenkumar, S., Agyekum, E. B., Kumar, A., & Velkin, V. I., Thermo-enviro-economic analysis of solar photovoltaic/thermal system incorporated with u-shaped grid copper pipe, thermal electric generators and nanofluids: An experimental investigation. *Journal of Energy Storage*, Nisan,2023.
- [12]. Eşlik, A. H., Sen, O., & Serttaş, F., Güneş ışınımı tahmini için CNN-LSTM modeli: Performans analizi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Mayıs, 20,05,2024.
- [13]. Zhu, H., Li, X., Sun, Q., Nie, L., Yao, J., & Zhao, G., A power prediction method for photovoltaic power plant based on wavelet decomposition and artificial neural networks, *Energies*, Aralık,25,12,2015.
- [14]. Akal, D., & Umut, İ., Fotovoltaik Panellerde Güç Tahminlenmesi için Yapay Zekâ Yöntemlerinin Kullanılması, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, Mayıs,31,05,2022.
- [15]. Arslan, G., Bayhan, B., & Yaman, K., Mersin/Türkiye için Ölçülen Global Güneş Işınımının Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi ve Yaygın Işınım Modelleri ile Karşılaştırılması. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, Mart, 24,03,2019.
- [16]. Coskun, C., Koçyiğit, N., & Oktay, Z., Estimation of pv module surface temperature using artificial neural networks. *Mugla Journal of Science and Technology*, Aralık,16,12,2016.
- [17]. HAKA, A. T., Climate Test Chambers and Exposure Testing, In *Between Making And Knowing, Tools In The History Of Materials Research*, 2020.
- [18]. Mensah, K., & Choi, J. M. , Energy consumption and stability investigation of constant temperature and humidity test chamber, *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, 2017.
- [19]. Ji, W., Cai, J., Ji, J., & Huang, W., Experimental study of a direct expansion solar-assisted heat pump (DX-SAHP) with finned-tube evaporator and comparison with conventional DX-SAHP. *Energy and Buildings*, Ocak,15,01, 2020.
- [20]. Chaurasiya, S. K., & Singh, S., High thermal performance of the solar air heater designs triggered by improved jet stability, *Renewable Energy*, Mart, 2023.
- [21]. Ghrilahre, H. K., Chandrakar, P., & Ahmad, A., Application of ANN model to predict the performance of solar air heater using relevant input parameters. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Ağustos, 2020.
- [22]. Akpınar, E., & Daş, M., Havalı Güneş Kollektör Destekli Sera Gıda Kurutucu Sisteminin Performansının İncelenmesi, *ITU Journal of Food Science and Technology*, 27,09,2024.
- [23]. Alic, E., Das, M., & Kaska, O., Heat flux estimation at pool boiling processes with computational intelligence methods, *Processes*, Mayıs, 17,05, 2019.

PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLERİNDE RADYASYON VE DOĞAL TAŞINIMIN TERMAL PERFORMANSA ETKİLERİNİN CFD ANALİZİ

Usame YILDIZ

Kocaeli Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği,
245109023@kocaeli.edu.tr - 0009-0002-4683-8776

Ar. Gör. Sayit ÖZBEY

Kocaeli Üniversitesi / Denizcilik Fakültesi / Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği,
Kocaeli Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği,
sayit.ozbey@kocaeli.edu.tr - 0000-0002-9782-6997

Dr. Öğr. Üyesi İsmet TIKIZ

Kocaeli Üniversitesi / Denizcilik Fakültesi / Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği,
Kocaeli Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği,
ismet.tikiz@kocaeli.edu.tr - 0000-0003-4477-799X

ÖZET

Isı değiştiricileri, farklı sıcaklıktaki akışkanlar arasında termal enerji transferi sağlayarak enerji verimliliğini artıran kritik mühendislik bileşenleridir. Bu çalışma kapsamında, ANSYS Fluent yazılımı ile doğal taşınım ile ısı transferi ve radyasyon modellemesi için iki farklı analiz yöntemi uygulanmıştır. Doğal taşınım ile ısı transferi analizinde, katı yapıdaki termal iletim ve akışkan akışındaki konvektif ısı transferi bir arada ele alınmıştır. Bu yöntem, akışkanın yoğunluk farklarıyla hareket ederek ısıyı sıcak alanlardan soğuk alanlara taşıdığı ve bu hareketin ısı transfer performansına etkisini açıklamaktadır. Radyasyon modellemesi ise, özellikle yüksek sıcaklık farklarının olduğu sistemlerde yüzeyler arası enerji transferini elektromanyetik dalgalar yoluyla simüle eder. Analiz sonuçları, ısı değiştiricilerde termal performans optimizasyonu için kritik veriler elde edilmiştir. Endüstriyel uygulamalarda, doğal taşınım ile ısı transferi, enerji tasarrufu ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda önemli katkılar sağlarken, radyasyon etkilerinin modellenmesi ise özellikle yüksek performanslı sistemlerde daha verimli tasarımların geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışma sonucunda, her iki mekanizmanın ısı transferi üzerindeki etkileri karşılaştırılmış ve endüstriyel tasarımların optimize edilmesine yönelik çıkarımlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Radyasyon, ısı transferi, sıcaklık dağılımı, doğal taşınım, ısı değiştirici

1. GİRİŞ

Isı değiştiriciler, mühendislik ve endüstriyel uygulamalarda enerji transferinin optimize edilmesinde merkezi bir rol oynamaktadır [1-4] Farklı sıcaklıklardaki akışkanlar arasında termal enerji transferi sağlama yetenekleri, bu cihazların hem enerji tasarrufu hem de çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda kritik bir öneme sahip olmasını sağlamaktadır [5]. Isı değiştiricilerin kullanım alanları, enerji üretimi, kimya endüstrisi, otomotiv sektörü, havacılık ve HVAC (ısıtma, havalandırma ve klima) sistemlerinden gıda işleme ve ilaç üretimine kadar geniş bir yelpazeye yayılmaktadır [6, 7]. Geniş kullanım alanına sahip ısı değiştiriciler, mühendislik ve endüstriyel uygulamalarda enerji transferinin optimize edilmesinde merkezi bir rol oynamaktadır [8]. Yüksek ısı transfer yüzeyi sağlama kapasiteleri, düşük ağırlıkları ve kolay bakım gereksinimleri nedeniyle özellikle tercih edilmektedir [9]. Bu cihazlar, ince metal plakaların arasındaki akışkanların karşılıklı veya çapraz akışına dayalı bir yapı ile çalışır ve bu sayede hem konvektif hem de radyoaktif ısı transferini etkili bir şekilde gerçekleştirir [10, 11].

Literatürde, plakalı ısı değiştiricilerin performansını artırmaya yönelik çalışmaların önemli bir kısmı, ısı transfer mekanizmalarının optimize edilmesine odaklanmaktadır [12, 13]. Örneğin, Ref. [14]'de, bir kanat yüzeyinde buzlanma sırasında ısı ve kütle transferi korelasyonları geliştirerek yüzey geometrisinin termal performansa olan etkisini analiz etmişlerdir. Benzer şekilde, Ref. [15]'de yapılan çalışmada, doğal taşınım etkileri altında farklı geometrik şekillerin ısı transferi üzerindeki etkisi detaylı olarak incelenmiştir. ANSYS-FLUENT yazılımı, bu tür analizler için güçlü bir araç olarak bilinmektedir. Yazılım, akışkan dinamikleri ve ısı transferi üzerine yapılan analizlerde yüksek doğruluk sunar ve tasarım sürecinde kritik parametrelerin optimize edilmesine olanak tanır [16].

Literatürde doğal taşınım ve radyasyon etkilerinin bir arada incelendiği çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir [17, 18]. Bu nedenle, bu çalışmanın plakalı ısı değiştirici performansı üzerindeki iki mekanizmayı bir arada değerlendirmesi, literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır. Örneğin, Adeyinka ve Naterer [19] tarafından yapılan bir çalışmada, kanat yüzeylerindeki doğal taşınım ve radyasyon etkileri ayrı ayrı incelenmiş, ancak bu iki mekanizmanın birleşik etkileri detaylı bir şekilde ele alınmamıştır. Bu tür eksiklikleri gidermek adına, bu çalışma hem doğal taşınım hem de radyasyon modellemesini içeren kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır.

Bu çalışmada, bir plakalı ısı değiştiricisinin doğal taşınım ve radyasyon ile ısı transferi ANSYS-FLUENT yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Doğal taşınım ile yapılan analizlerde, yoğunluk farklarına dayalı akışkan hareketleri ve bu hareketlerin ısı transferi üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Ayrıca, radyasyon etkileri eklenerek yüzeyler arası enerji transferinin toplam performansa katkısı detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma, plakalı ısı değiştiricilerin termal performansını artırmaya yönelik önemli bilgiler sunmakta ve her iki mekanizmanın ayrı ayrı ve birlikte incelenmesi, daha verimli cihaz tasarımlarının yapılmasına olanak tanımaktadır. Çalışmanın sonuçları, sadece akademik anlamda değil, endüstriyel uygulamalar açısından da önemli çıkarımlar sunmaktadır. Doğal taşınım ve radyasyon modellemeleriyle elde edilen veriler, ısı değiştiricilerin tasarım parametrelerini optimize etmek

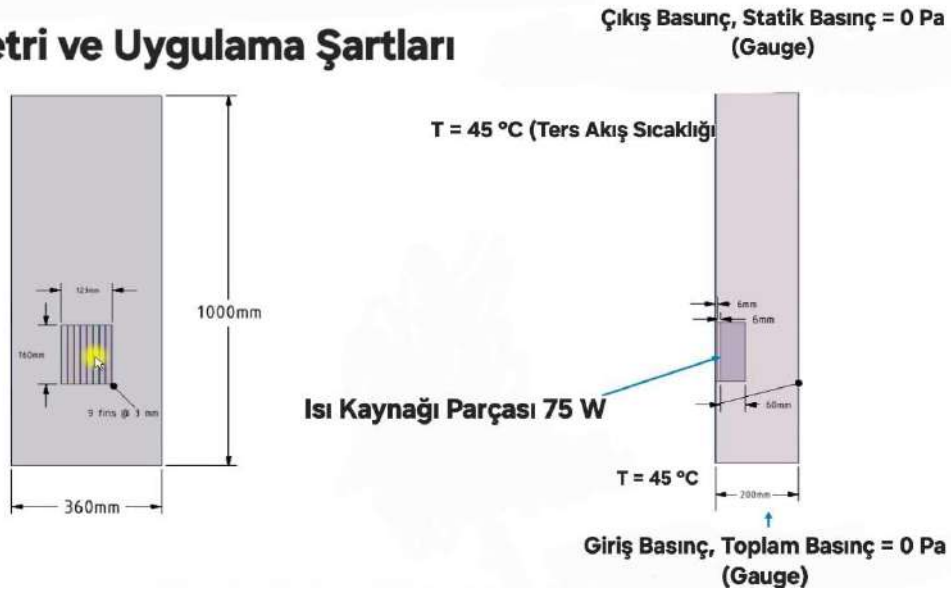
için kullanılabilir. Örneğin, yüksek sıcaklıklı endüstriyel fırınlar, enerji santralleri veya otomotiv soğutma sistemleri gibi uygulamalarda, radyasyon etkilerinin doğru bir şekilde modellenmesi enerji verimliliği üzerinde belirgin bir iyileşme sağlayabilir. Doğal taşınım çalışmaları ise, enerji maliyetlerini düşürme ve çevresel etkileri en aza indirme açısından avantajlıdır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölüm, bir plakalı ısı değiştiricisinin doğal taşınım ve radyasyon ile ısı transferinin deneysel kurulumu hakkında bilgileri sunmaktadır. Deneysel çalışma, Şekil 1’de görüldüğü üzere 360 x 1000 x 200 mm boyutlarında bir dikdörtgen kanal içinde gerçekleştirilmiştir. Test alanının duvarları şeffaftır, bu sayede gözlemler ve fotoğraflar kolaylıkla elde edilmiştir. Test parçası olan çip ürünü, test alanında dikey olarak monte edilmiştir. Akış doğal taşınımlı olarak modellenmekte olup atmosfer basıncında 45 °C giriş sıcaklığına sahiptir. Doğal taşınım olması sebebiyle giriş hızının tanımlanmasına gerek yoktur. Isı kaynağı olan çip malzemesi ise 75 W gücüne sahiptir.

Deneysel çalışmalar için modelin prototip üretimi yapılmıştır. Bu sistemin 3D tasarımı CATIA V5 programı ile yapılmıştır. Analizler ise ANSYS-FLUENT ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, duvar kalınlığının ısı transferi üzerindeki etkisinin düşük olacağı öngörüldüğünden, duvar kalınlığı 1 mm olarak belirlenmiştir. Duvar yapısı yoğunluğu 1250 kg/m³, özgül ısısı 1300 J/kg.K, termal iletkenlik değeri ise 0,35 W/(m.K) olan malzeme tanımlanmıştır. Isı kaynağının önünde bulunan soğutma bölümü için ise bakır elementi materyal olarak seçilmiştir. Son olarak ısı kaynağı olan çip için yoğunluğu 1900 kg/m³, özgül ısısı 795 J/kg.K, termal iletkenlik değeri ise 10 W/(m.K) olan malzeme tanımlanması yapılarak malzeme atama işlemleri tamamlanmıştır.

Geometri ve Uygulama Şartları



Şekil 3. Isı plakası parametreleri

Sistem içerisindeki doğal taşınım sıcaklık denklemi, Denklem 1'de verilen şekilde ifade edilmiştir. Bu denklemde, ρ akışkan yoğunluğunu (kg/m^3), T sıcaklığı (K), v akışkan hız vektörünü (m/s), k termal iletkenliği ($\text{W/m}\cdot\text{K}$), C_p akışkanın özgül ısısını ($\text{W/m}\cdot\text{K}$) ve S_T ısı kaynağı terimini (W/m^3) temsil etmektedir.

$$(\partial (p.T) / \partial t). (\nabla. (p.v.T)) = \nabla. ((k / C_p). \nabla. T) + S_T \quad (\text{Denklem 1})$$

Surface to surface (S2S) radyasyon modeli yüzeyler arasındaki radyasyon ısı transferini Stefan-Boltzmann yasası ve görüş faktörleri kullanarak çözer. Sıcaklıklar arasındaki farkın dördüncü kuvveti temel alınır ve model hacimsel radyasyonu göz ardı ederek yalnızca yüzeyler arasında enerji alışverişini hesaplar. Bu model, özellikle kapalı alanlardaki radyasyon analizleri için kullanışlıdır. Radyasyon modeli olarak kullanılacak olan S2S modelinde, iki yüzey arasındaki radyasyon ısı transferini hesaplamak için Denklem 2'de belirtilen parametreler kullanılır. Bu denklemde, $q_{i,j}$ terimi, yüzey i ve yüzey j arasındaki radyasyon ısı transferini (Watt cinsinden) temsil eder. $F_{i,j}$ ise görünürlük (view factor) veya görüş faktörünü ifade eder ve boyutsuz bir değere sahiptir. Ayrıca, σ Stefan-Boltzmann sabiti olup, değeri $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ olarak kabul edilir. A_i , yüzey i 'nin alanını (m^2) ve T_i ile T_j , sırasıyla yüzey i ve yüzey j 'nin sıcaklıklarını (Kelvin cinsinden) ifade eder.

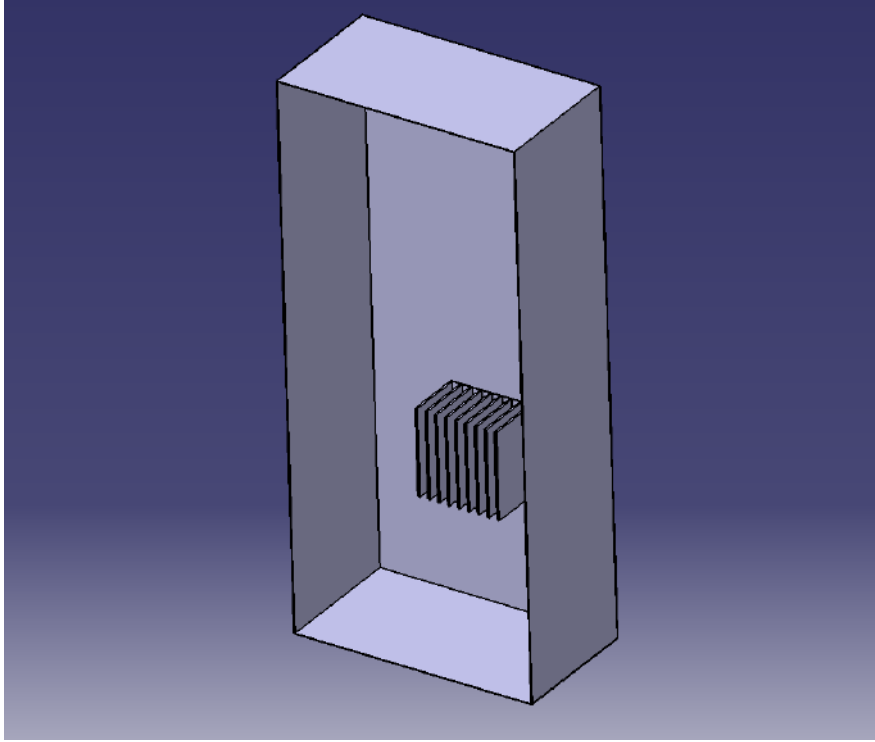
$$q_{i,j} = F_{i,j} \cdot \sigma \cdot A_i (T_i^4 - T_j^4) \quad (\text{Denklem 2})$$

Stefan-Boltzmann sabiti (σ), termodinamikte ve radyasyon ısı transferinde kullanılan bir fiziksel sabittir. Bu sabit, bir yüzeyin, sıcaklığına bağlı olarak ne kadar enerji yaydığı ile ilgilidir. Stefan-Boltzmann yasasına göre, bir yüzeyden yayılan enerji miktarı (E) Denklem 3'teki gibidir. Denklemde yüzeyden yayılan toplam enerji, E , birim alandaki enerji akışını ifade ederken, T , yüzeyin mutlak sıcaklığını ifade edilir.

$$E = \sigma \cdot T^4 \quad (\text{Denklem 3})$$

Görüş faktörü, bir yüzeyden yayılan radyasyonun ne kadarının başka bir yüzeye ulaştığını tanımlayan bir geometrik parametredir. Bir yüzeyden diğerine radyasyon geçişini hesaplamak için görüş faktörü gereklidir. Matematiksel olarak, görüş faktörü $F_{i,j}$, yüzey i 'den yayılan radyasyon enerjisinin yüzey j 'ye ulaşan kısmının toplam yayılan enerjiye oranıdır.

Bu çalışmada çizim dosyasının oluşturulmasının ardından gerekli giriş, çıkış, duvar, ısı kaynağı ve soğutucu eleman sınır şartları tanımlaması yapıldıktan sonra oluşan görüntü Şekil 2'de detaylıca gösterilmektedir. Burada hava doğal akış olarak ısı kaynağının alt yüzeyinden girmekte ve sonrasında üst yüzeyden dış sisteme atılmaktadır.



Şekil 2. Isı transfer analizini yapılacağı sistemin 3D görseli

Sistem geometrisine Fluent-Meshing ile meshing işlemi yapılmıştır. Bu mesh işleminde hexahedral elemanlar kullanılmıştır. Meshing işlemi sonrasında oluşan kalite değerleri ise orthogonal değeri 0,76 aspect ratio değeri 10,99 ve skewness değeri ise 0,82 olarak belirlenmiştir. Bu değer analiz sonucunda gerçeğe yakın sonuçlar alabilmek için yeterli aralıklardadır. Aynı zamanda bu analizde toplam 750.400 adet eleman kullanılmıştır.

İlk olarak ısı transfer problemlerinin çözülme işlemi yapılacağından enerji denklemleri aktif edilir. Sonrasında ise hava materyal tanımında yoğunluğun değişken olduğu tanımlanması yapılacağı için density kısmı incompressible ideal gas olarak seçilir. Bu sayede yoğunluk sıcaklığa bağlı olarak gerçek durumlardaki gibi değişkenlik gösterecektir. Aynı zamanda doğal akış etkilerinin daha detaylı olarak incelenmesi için yerçekimi etkilerinin sistemde modellenebilmesi adına yerçekimi aktif edilir.

Bu ilk model için akış durumunun türbülanssız olacak şekilde modellenecektir. Problem özelinde sadece ısı transfer durumu göz önüne alınacağı için türbülans modellemesine ihtiyaç yoktur. Diğer çözüm modeli için ise ısı transferinde radyasyon etkilerini incelemek için sisteme radyasyon modeli tanımı yapılacaktır. Amaç, radyasyon modellemesinin ısı transferi üzerinde etkilerinin incelenmesidir.

Tanımlanan akışkan daha sonra cell zone conditions sekmesinden akış hacmi için tanımlanır. Bu tanımlamada yapıldıktan sonra sıra sınır koşullarının tanımlanması işlemine gelmektedir. Sınır koşulları tanımlamasında ise ilk olarak inlet kısmı tanımlanması yapılır. Giriş koşulları doğal akış olduğu için pressure inlet olarak tanımlanır ve akış atmosfer koşulları olduğu hesaba katıldığı için hız tanımlamasına gerek kalmaz. Giriş sıcaklığı için ise 45 °C sıcaklık tanımlaması

yapılır. Çıkış için ise sıcaklık yine 45 °C olarak alınmıştır ve akış dış havaya açılacağı için basınç değeri Gauge Pressure olarak tanımlanmalıdır. Bu sayede akışın ters akım yaptığı bölgelerin belirlenmesi sağlanabilecektir.

Monitör işlemleri için gerekli yüzeylerdeki sıcaklık gradyanlarının incelenmesi ve yakınsama (convergence) işleminin analiz edilmesi için monitör eklenir. İlk olarak ısı kaynağında hacimsel olarak oluşan en yüksek sıcaklık değeri monitör edilir. Son olarak ise ısıtıcı ve soğutucu bölgesinin üstünde bulunan bir bölgedeki ortalama sıcaklık verileri monitör edilir ve işlem analiz için hazır hale gelmiş olur. İlk çözüm (initialize) işlemi ile ilk iterasyonların çözüm işlemi yapılır. Ardından 300 iterasyon ile çözüm işlemleri başlatılır ve sonucunda ise çözücü işlemi doğal taşınım ile ısı transferi için tamamlanmış olur ve radyasyon modellemesi işlemine geçiş yapılır.

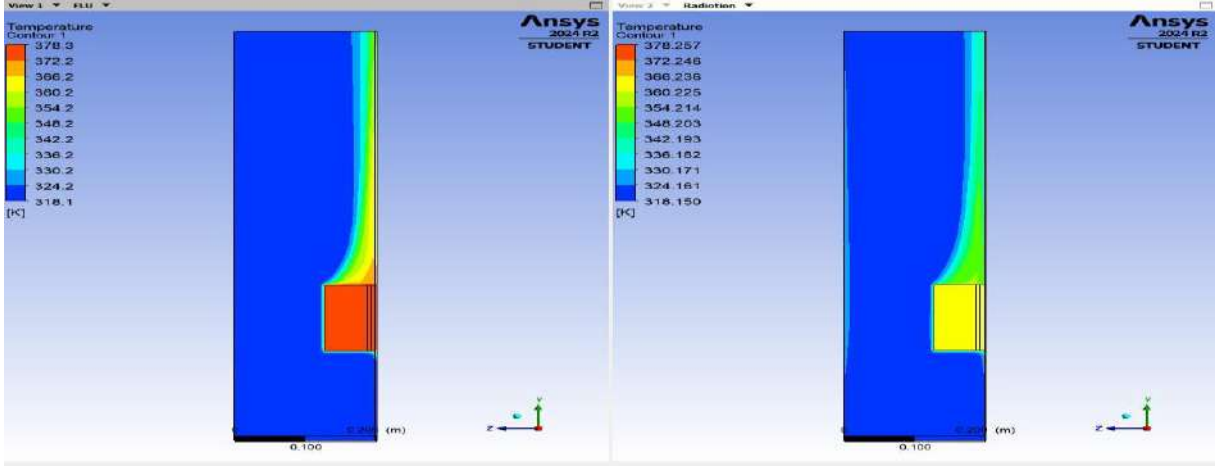
Radyasyon modeli için sistem geometrisinin solving işleminde doğal taşınım ısı transferi için tanımlanmış olan çözücü işlemi duplicate edilerek aynı geometri ve ağ düzeni olduğu gibi kopyalanmış olur. Bu durum için sadece radyasyon (radiation) aktif edilir ve model olarak ise surface to surface (S2S) modeli seçilir ve diğer unsurlarda bir değişim olmadan iterasyon işlemi yapılarak çözüm işlemi tamamlanır.

Radyasyon modeli olarak S2S modelinin seçilmesinin sebebi ise, özellikle yüzeyler arasında radyasyon ısı transferini modellemek için tercih edilir. S2S modeli, radyasyonun yönlü doğasını dikkate alarak daha gerçekçi ısı transferi hesaplamaları yapar. Yüzeyler arasında doğrudan radyasyon transferini hesaplarken, özellikle opak malzemelerle yapılan analizlerde doğru sonuçlar verir

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

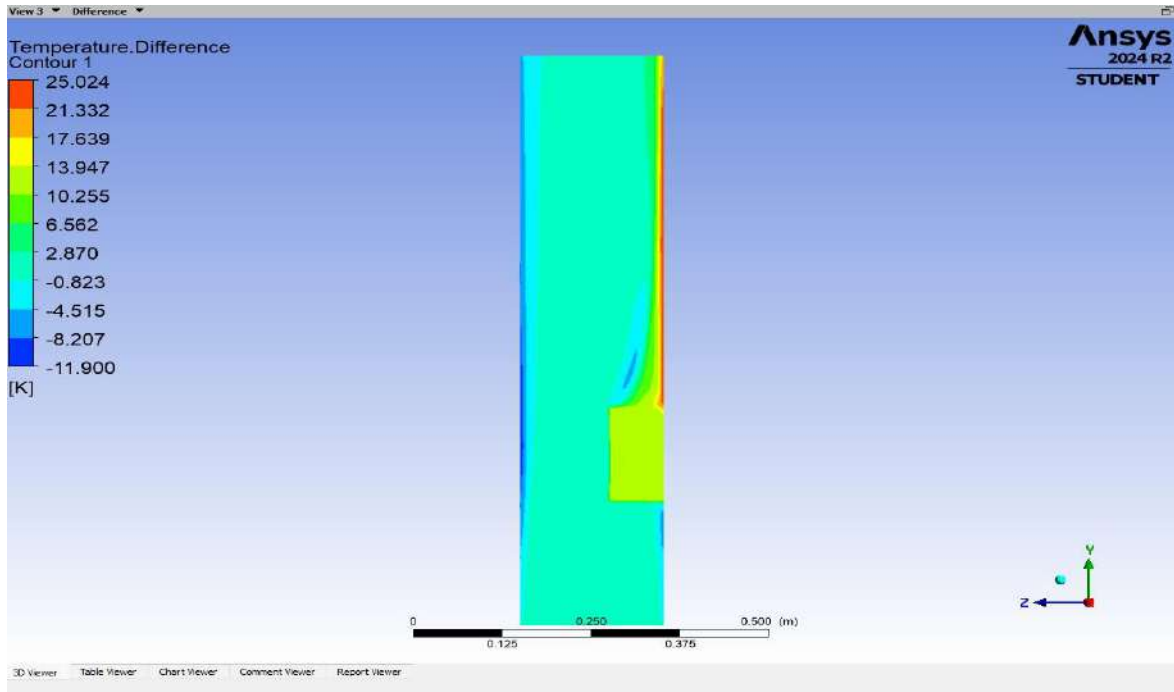
Bu çalışmada, bir plakalı ısı değiştiricisi geometrisi üzerinde doğal ısı transferi ve radyasyon modellemesi ile ısı transferi olmak üzere iki farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin sonuçları, ısı transferinin doğal veya radyasyon (ışınım) olduğu durumlarda sistem üzerindeki sıcaklık davranışlarını anlamamıza ve her modelin sistem üzerindeki etkilerini değerlendirmemize olanak sağlar.

Doğal taşınım modelleme ile radyasyon modelinin karşılaştırmalı yan profil görüntüsü ve aralarında oluşan sıcaklık farkının geometri üzerindeki dağılımı Şekil 3'te görüntülenmektedir. Bu durumda oluşan farklar bize radyasyondan dolayı oluşan sıcaklık farklarının en açık gösterimidir.



Şekil 3. Doğal taşınım ile radyasyon modellemesinin kıyaslanması

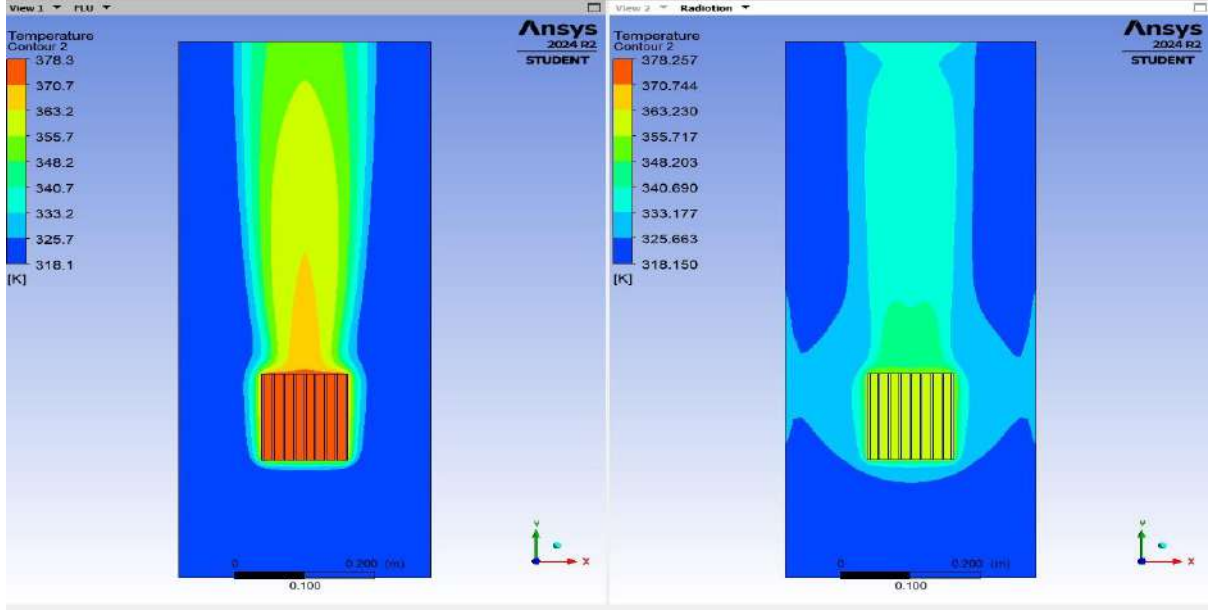
Doğal taşınım modelleme ile radyasyon modelinin aynı görüntü üzerindeki farkları Şekil 4’te daha detaylı olarak gözükmemektedir. Bu durumda iki farklı modelde oluşan ve dikkate alınması gereken düzeyde olan farkların temel sebebi ise doğal taşınımında (konveksiyon) akışkan hareketleri nedeniyle sıcaklık alanı, zamanla değişir ve genellikle homojen olmayan bir dağılım gösterirken radyasyon modelinde ise ısı transferi akışkana bağlı değildir ve enerji, yüzeyler arasında doğrudan transfer edildiği için sıcaklık dağılımı daha düzgün veya lokal olarak daha yüksek olabilir. Bu görsel bu farkın en belirgin şekilde gösterilmesini sağlamıştır.



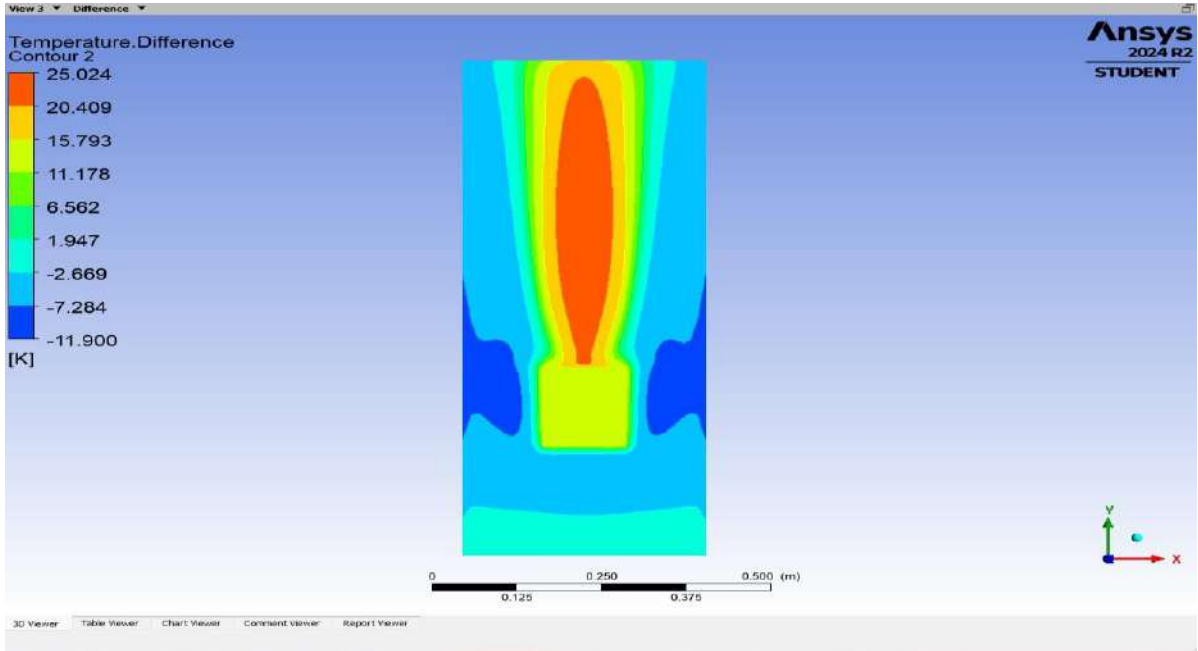
Şekil 4. Doğal taşınım ile radyasyon modellemesinin sıcaklık farkı görseli

Şekil 5’te ise sistem geometrisinin karşıdan görüntüsüyle yüzeylerde oluşan sıcaklık gradyanlarının kıyaslanması görüntülenmektedir. Bu durumda da tekrardan sıcaklık farklarının

oluştugu gözlemlenmekte ve aralarındaki fark değerlerinin olduğu görsel Şekil 6'da sunulmaktadır. Bu farklar ise doğal taşınımında akışkanın hareketi ile sınırlı bir ısı transferi varken radyasyon modellemesinde ise elektromanyetik dalga ile bir ısı transferi söz konusudur. Bu durumdaki farkların temel sebebi bu farklı yaklaşımdan kaynaklanmaktadır. Doğal taşınım ve radyasyon modelleme sonuçları Şekil 3 ve Şekil 5'te karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar, sistem performansı üzerindeki sıcaklık farklarının belirleyici olduğunu göstermektedir.

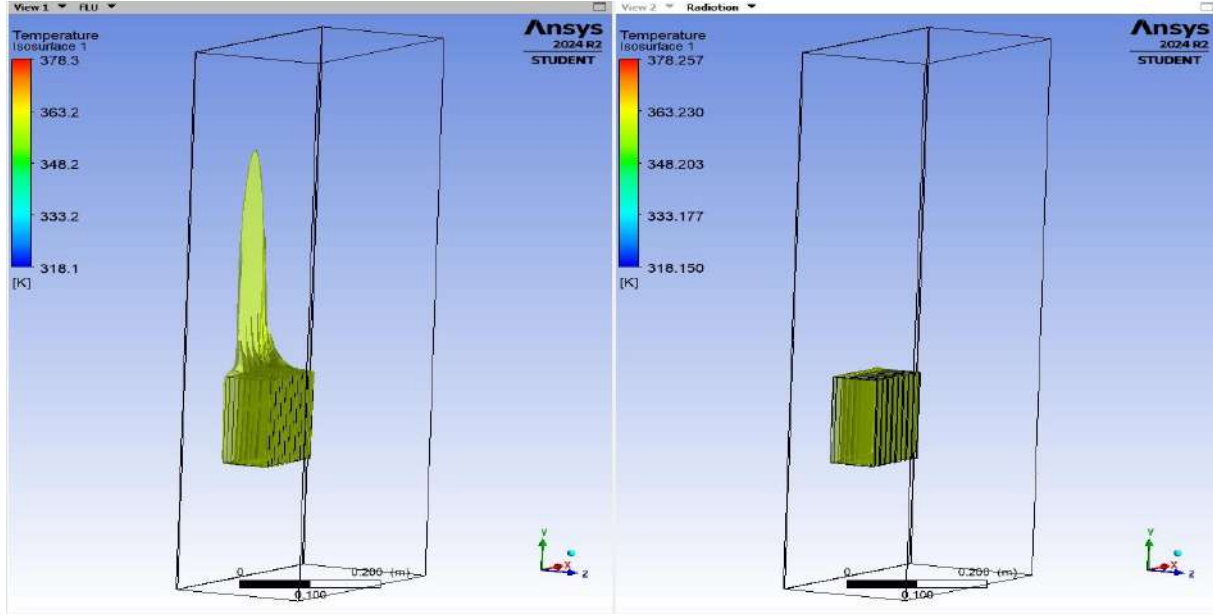


Şekil 5. Analiz modellerinde geometrinin ön görüntüsüyle verilen sıcaklık dağılımları



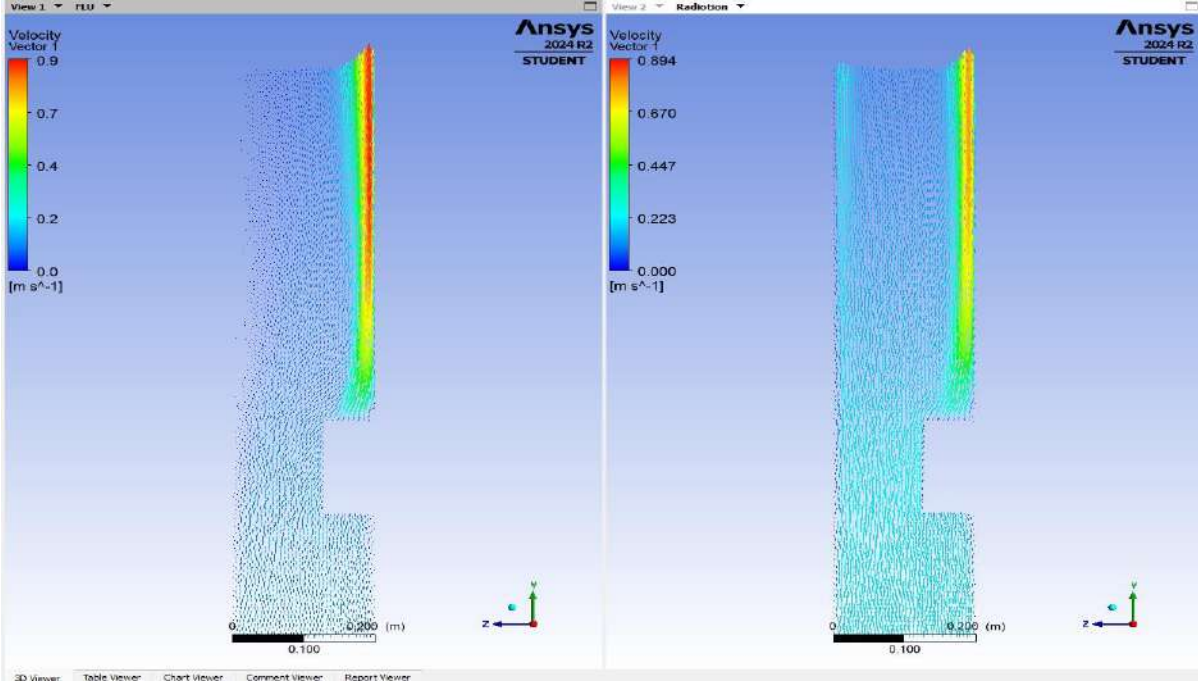
Şekil 6. Analiz modellerinde geometrinin ön görüntüsüyle verilen sıcaklık farkları

Şekil 7’de sistem geometrisinin tamamında sıcaklık değeri 360 K ve üzeri olan hacimler belirtilmiştir. Bu durumda doğal akışlı olan sistemde çip ve etrafı bu sıcaklıklarda iken radyasyon modellemesinde ise sadece çip ve soğutucu civarında bu sıcaklık değerleri mevcuttur. Bu durumdaki fark doğal taşınım ile radyasyon arasındaki geometri etkisinden kaynaklanmaktadır. Doğal taşınım problemlerinde geometri etkisinde akışkan hareketi sınırlandırılabilirken radyasyonda ise yüzey görüş faktörleri etki sağlamaktadır

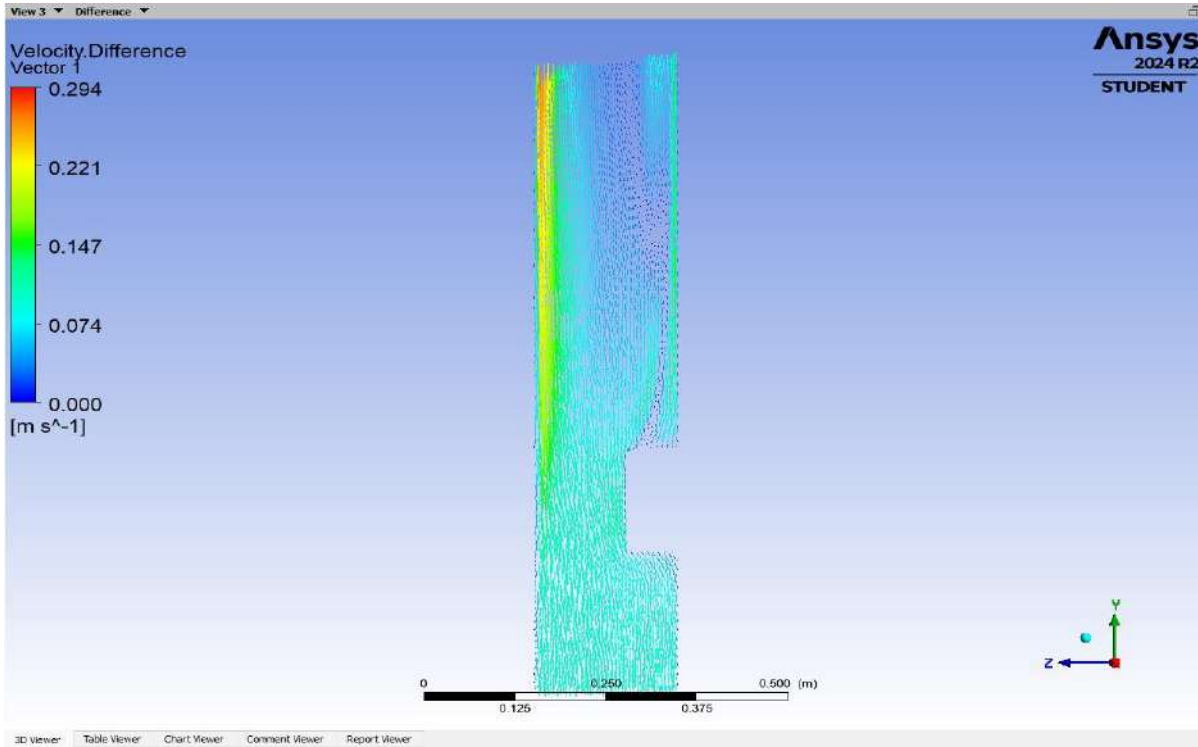


Şekil 7. Analiz modellerinde sıcaklık değeri 360 K ve üzeri olan hacimlerin gösterimi

Şekil 8’de ise doğal taşınımlı ısı transfer modeli ile radyasyon modelinin yan profil görüntüsünden hız vektörleri gösterilmektedir. Doğal taşınımında hız vektörleri yüzey yakınlarında büyük ve değişken iken radyasyon modellemesinde ise daha düşük ve yüzeye bağlı olarak daha sınırlı hareket etmektedir. Bu durumun sebebi modellerde akışkan hızının sıcaklık farkına bağlı olarak değişiklik göstermesidir. Aynı zamanda iki model arasındaki hız vektörlerinin farklı olan bölgeleri Şekil 9’ da gösterilmektedir.



Şekil 8. Analiz modellerinde hız vektörlerinin gösterimi



Şekil 9. Analiz modellerinde hız vektörlerinin farklı kısımlarının gösterimi

Bu çalışmada ısı transferi iki farklı durum ele alınarak analiz edilmiştir. Isı kaynağı olan parça dikkate alınarak o bölgede Nusselt sayıları ısı transfer modeline bağlı olarak hesaplanmış ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Nusselt sayısı (Nu) bir ısı transferi parametresidir ve konvektif ısı transferinin etkinliğini ifade eder. Bir akışkanın içinde ısı transferinin etkinliğini ölçen bir boyutsuz sayıdır. Nusselt sayısı, genellikle sıcaklık gradyanı ve ısı iletimi arasındaki ilişkiyi tanımlar. Yüksek Nusselt sayısı, ısı transferinin etkin olduğunu, yani ısı iletiminin yüksek hızla gerçekleştiğini gösterir. Bu durum, zorlanmış konveksiyonun güçlü olduğu, yüzeyin pürüzlü veya akışkanın hızının yüksek olduğu koşullarda görülür. Düşük Nusselt sayısı ise ısı transferinin düşük olduğu, genellikle doğal konveksiyonun ve düşük hızdaki akışların olduğu sistemlerde görülür. Bu sayede, projelerde Nusselt sayısının analizi, ısı transfer performansının değerlendirilmesine yardımcı olur.

Nusselt sayısının hesaplamasında, ısı kaynağı olan parça referans alınmıştır. Bu referans seçimi, ısı transferinin etkinliğini ve akışkanın ısıyı iletme kapasitesini değerlendirilebilecek en doğru bölge olması sebebiyle alınmıştır. Isı kaynağı olan bölgede hesaplanan Nusselt sayıları aşağıdaki gibidir:

- **Doğal Taşınım ile Isı Transferi:** Yüzeydeki sıcaklık farkı ve akışkanın viskozitesi gibi faktörler, ısı transferinin etkinliğini belirler. Burada ısı, akışkanın moleküler hareketine bağlı olarak taşınır. Düşük sıcaklıklarda daha belirgin olan bu yöntemde en yüksek Nu sayısı 240, en düşük 20, ortalama değer ise 101 olarak hesaplanmıştır.
- **S2S Radyasyon Modeli ile Isı Transferi:** Yüzeylerin sıcaklığına ve emisyon özelliklerine bağlı olarak ısı enerjisi, elektromanyetik dalgalarla yayılır ve ısı transferinin etkinliği, özellikle yüksek sıcaklıklarda, radyasyonun etkisiyle artar ve taşınımından bağımsız olarak ısı transferine katkı sağlar. Radyasyon etkilerinin incelendiği bu modelde en yüksek Nu sayısı 259, en düşük 59 ve ortalama değer olarak ise 142 hesaplanmıştır.

Yüksek sıcaklıklarda radyasyon etkisi belirginleşir ve ısı transferi daha etkin hale gelir, bu da Nusselt sayısının artmasına yol açar. Doğal taşınımında ise, akışın hızı ve sıcaklık farkları belirleyici faktörlerdir ve bu, genellikle daha düşük Nusselt sayılarıyla sonuçlanır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, bir ısı değiştiricinin doğal akışlı ve radyasyon etkilerini içeren iki farklı analiz modeli üzerinde durulmuştur. Bu iki modelin karşılaştırılması ve sonuçların değerlendirilmesi, ısı transfer mekanizmalarının farklı koşullar altında nasıl etkilendiğini anlamak açısından önemlidir. Doğal akışlı analiz, ortamda akışkan hareketinin yalnızca yoğunluk farklarından kaynaklandığı bir senaryoyu temsil eder. Bu modelde, sıcaklık farkları akışkan yoğunluğunu değiştirir, bu da akışkanın konvektif hareketini oluşturur. Analizde, akışkanın sıcak bölgelerden soğuk bölgelere doğru hareket ettiği ve bu hareketin ısı değiştirici yüzeyleri arasındaki ısı transferini artırdığı gözlemlenmiştir. Radyasyon modeli, ısı transferine radyasyon etkisini dahil eden bir modeldir. Radyasyon, yüzeyler arasındaki ısı enerjisi transferini elektromanyetik dalgalar yoluyla sağladığı için, özellikle yüksek sıcaklıklarda belirgin bir etki oluşturur.

Bu analiz sonuçları, bir ısı değiştiricisinin performansını değerlendirirken hem konveksiyon hem de radyasyonun dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Radyasyon etkisinin, ısı

transferinin hızını ve verimliliğini artırması, özellikle yüksek sıcaklıklı sistemlerde radyasyon modellenmesinin önemli olduğunu ortaya koyar.

KAYNAKÇA

- [1] Z. Chen *et al.*, “Optimization Design and Performance Study of a Heat Exchanger for an Oil and Gas Recovery System in an Oil Depot,” *Energies*, vol. 17, no. 11, p. 2631, May 2024, doi: 10.3390/en17112631.
- [2] B. Zohuri, “Heat Exchangers,” in *Physics of Cryogenics*, Elsevier, 2018, pp. 299–330. doi: 10.1016/B978-0-12-814519-7.00012-4.
- [3] P. GaneshKumar, S. VinothKumar, V. S. Vigneswaran, S. C. Kim, and V. Ramkumar, “Advancing heat exchangers for energy storage: A comprehensive review of methods and techniques,” *J. Energy Storage*, vol. 99, p. 113334, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.est.2024.113334.
- [4] P. GaneshKumar, S. VinothKumar, V. S. Vigneswaran, S. C. Kim, and V. Ramkumar, “Advancing heat exchangers for energy storage: A comprehensive review of methods and techniques,” *J. Energy Storage*, vol. 99, p. 113334, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.est.2024.113334.
- [5] M. Abdullah and M. Zoynal Abedin, “Recent development of combined heat transfer performance for engine systems: A comprehensive review,” *Results in Surfaces and Interfaces*, vol. 15, p. 100212, May 2024, doi: 10.1016/j.rsurfi.2024.100212.
- [6] A. Patel, “Heat Exchangers in Industrial Applications: Efficiency and Optimization Strategies,” *Int. J. Eng. Res.*, vol. 12, 2023, doi: 10.17577/IJERTV12IS090003.
- [7] S. K. Gupta, S. Gupta, T. Gupta, A. Raghav, and A. Singh, “A review on recent advances and applications of nanofluids in plate heat exchanger,” *Mater. Today Proc.*, vol. 44, pp. 229–241, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.09.460.
- [8] M. Louahdi, J.-E. Salhi, H. Essaouini, T. Zarrouk, and M. L. Lahlaouti, “Three-dimensional analysis for optimizing thermo-hydrodynamic performance of heat exchangers with perforated semi-circular inserts,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 60, p. 104611, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.csite.2024.104611.
- [9] B. Sundén and J. Fu, “Aerospace Heat Exchangers,” in *Heat Transfer in Aerospace Applications*, Elsevier, 2017, pp. 89–115. doi: 10.1016/B978-0-12-809760-1.00006-5.
- [10] G. Canbolat, “A Numerical Study on Cross Flow Heat Exchanger with Different Reynolds (Re) Numbers,” *ALKÜ Fen Bilim. Derg.*, vol. 5, no. 3, pp. 118–130, 2023, doi: 10.46740/alku.1368103.
- [11] I. Kotcioglu, S. Caliskan, and M. Zırzakıran, “Heat transfer in a cross-flow heat recovery ventilator with fin,” *Erciyes Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 25, no. 272–286, pp. 272–286, 2009.
- [12] A. Aboul Khail and A. Erişen, “Heat transfer and performance enhancement investigation of novel plate heat exchanger,” *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 34, p. 101368, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.tsep.2022.101368.
- [13] J. Zhang, X. Zhu, M. E. Mondejar, and F. Haglind, “A review of heat transfer enhancement techniques in plate heat exchangers,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 101, pp. 305–328, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.rser.2018.11.017.
- [14] G. Fortin, J.-L. Laforte, and A. Ilinca, “Heat and mass transfer during ice accretion on aircraft wings with an improved roughness model,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 45, no. 6, pp. 595–606, Jun. 2006, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2005.07.006.
- [15] C.-Y. Cheng, “The effect of temperature-dependent viscosity on the natural convection heat transfer from a horizontal isothermal cylinder of elliptic cross section,” *Int. Commun. Heat*

- Mass Transf.*, vol. 33, no. 8, pp. 1021–1028, Oct. 2006, doi:
10.1016/j.icheatmasstransfer.2006.02.019.
- [16] P. A. D. Cruz, E.-J. E. Yamat, J. P. E. Nuqui, and A. N. Soriano, “Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis of the heat transfer and fluid flow of copper (II) oxide-water nanofluid in a shell and tube heat exchanger,” *Digit. Chem. Eng.*, vol. 3, p. 100014, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.dche.2022.100014.
- [17] R. El Ayachi, A. Raji, M. Hasnaoui, M. Naïmi, and A. Abdelbaki, “Combined Effects of Radiation and Natural Convection in a Square Cavity Submitted to Two Combined Modes of Cross Gradients of Temperature,” *Numer. Heat Transf. Part A Appl.*, vol. 62, no. 11, pp. 905–931, Dec. 2012, doi: 10.1080/10407782.2012.712463.
- [18] S. Saravanan and C. Sivaraj, “Combined natural convection and thermal radiation in a square cavity with a nonuniformly heated plate,” *Comput. Fluids*, vol. 117, pp. 125–138, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.compfluid.2015.05.005.
- [19] O. B. Adeyinka and G. F. Naterer, “Apparent Entropy Production Difference With Heat And Fluid Flow Irreversibilities,” *Numer. Heat Transf. Part B Fundam.*, vol. 42, no. 5, pp. 411–436, Nov. 2010, doi: 10.1080/10407790190054012.

NACA 63421 KANAT PROFİLİNDE TÜRBÜLANS MODELLERİNİN ISI TRANSFERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Usame YILDIZ

Kocaeli Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği,
245109023@kocaeli.edu.tr - 0009-0002-4683-8776

Ar. Gör. Sayit ÖZBEY

Kocaeli Üniversitesi / Denizcilik Fakültesi / Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği,
Kocaeli Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği,
sayit.ozbey@kocaeli.edu.tr - 0000-0002-9782-6997

Dr. Öğr. Üyesi İsmet TIKIZ

Kocaeli Üniversitesi / Denizcilik Fakültesi / Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği,
Kocaeli Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği,
ismet.tikiz@kocaeli.edu.tr - 0000-0003-4477-799X

ÖZET

Kanat tasarımları, havacılık ve uzay mühendisliği açısından kritik bir öneme sahiptir ve uçakların performansı üzerinde doğrudan bir etkisi bulunmaktadır. Bir kanat profilinin geometrisi, akışkan davranışını etkileyerek kaldırma kuvveti, sürüklenme direnci ve genel uçuş verimliliği üzerinde belirleyici bir rol oynar. Günümüzde, kanat tasarımında hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) analizleri, daha güvenilir sonuçlar elde edebilmek için önemli bir araç haline gelmiştir. Bu çalışmada, NACA 63421 kanat profili farklı türbülans modelleme koşulları altında analiz edilmiştir. Düşük sürüklenme ve yüksek kaldırma özellikleriyle bilinen bu profil, özellikle düşük hızda yüksek performans gereksinimi olan hava araçları için tercih edilmektedir. Çalışmada üç farklı analiz yaklaşımı ele alınmıştır: laminar akış, $k-\epsilon$ türbülans modeli ve Spalart-Allmaras türbülans modeli. Zorlanmış taşınım ısı transferini anlamak ve ampirik korelasyonlar geliştirmek amacıyla hem deneysel hem de sayısal yöntemler kullanılmıştır. Ansys Fluent yazılımıyla yapılan ileri düzey meshleme teknikleri ve simülasyonlar, sıcaklık gradyanları, akış ayrılma noktaları ve hız profilleri hakkında kapsamlı veriler sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar, laminar ve türbülanslı akışların ısı transferi üzerindeki etkilerini karşılaştırarak, türbülans yoğunluğu ile ısı transfer verimliliği arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Bu araştırma, termal yönetimin optimize edilmesi yoluyla aerodinamik performansı ve enerji verimliliğini artırmayı hedeflemektedir. Ayrıca, elde edilen bulguların, kanat tasarımında yeni ısı transferi stratejileri geliştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: NACA 63421, ısı transferi, türbülans modelleme, laminer akış

1. GİRİŞ

Havacılık ve uzay mühendisliği uygulamalarında, kanat tasarımları uçak performansını doğrudan etkileyen kritik faktördür [1]. Bir kanat profilinin geometrisi, akışkan davranışını, kaldırma kuvvetini, sürüklenme direncini ve dolayısıyla uçuş verimliliğini belirlemede önemli bir rol oynar. Kanat profili seçimi, akışkanlar dinamiği (CFD) analizleriyle desteklenerek daha güvenilir sonuçlar sağlar.[2].

Zorlanmış taşınım ısı transferi üzerine yapılan çalışmalarla, farklı geometriler için ampirik korelasyonlar geliştirmiştir [3]. Bu korelasyonlar, özellikle silindir, plaka ve kanat gibi geometrilerde önem kazanmaktadır. Düz plakalar gibi temel yapılar için Nusselt sayısı analitik olarak Reynolds (Re) ve Prandtl (Pr) sayılarıyla ilişkilendirilebilir. Nusselt sayısı (Nu), taşınım ısı transferinin bir göstergesi olup, taşınım yoluyla gerçekleşen ısı akısının iletim yoluyla gerçekleşene oranını ifade eder. Isı transferinin daha karmaşık olduğu cisimler için ise deneysel verilere dayalı ampirik korelasyonlar gereklidir. Bu korelasyonlar, genellikle akış özellikleri ve geometriye bağlı olarak değişen üslerle çarpılan Reynolds ve Prandtl sayılarının bir fonksiyonu şeklinde ifade edilir [4].

Literatürde, silindir, küre veya kanat gibi farklı geometrilere sahip cisimler etrafında zorlanmış taşınım korelasyonları geliştirilmiştir [4 -7]. Örneğin, Fortin vd. [8], bir hava akışı esnasında kanat yüzeyinde buzlanma sırasında ısı ve kütle transferi korelasyonları geliştirmiştir. Bu tür çalışmalar, özellikle hava araçlarında ve rüzgâr enerjisi türbinlerinde yüzey sıcaklıklarının ve ısı transferinin kontrol edilmesinde önemlidir. Diğer bir çalışma olan Cheng [9], farklı viskozitelerdeki akışkanlarda yatay bir eliptik silindirden serbest taşınım ısı transferini incelemiştir. Bu çalışmada, Nusselt sayısı ve deri sürtünmesi katsayısı, viskozite değişim parametresine, eliptik şeklin eksantriklik açısına ve Prandtl sayısına bağlı olarak raporlanmıştır.

Daha karmaşık akış yapılarına sahip cisimler için ampirik korelasyonların geliştirilmesi, deneysel çalışmalar ve sayısal yöntemlerle desteklenmektedir [10 - 11]. Örneğin, Ref. [12]'de, dikey bir plakadan karışık taşınım ısı transferini analiz etmiş ve Prandtl, Richardson (Ri) ve Eckert (Ec) sayıları ile Nusselt sayısı arasında korelasyonlar elde etmiştir. Bu çalışmada kullanılan sayısal modellemeler, akışın duvar yakınındaki yüksek sıcaklık gradyanlarını daha iyi çözmek amacıyla ince duvar katmanı (near-wall) ağ yapılarını içermektedir. Bu tip incelemeler, zorlanmış taşınım koşullarında akış ayrılmasının etkilerini incelemek ve yüzey konumuna bağlı olarak ısı transferi performansını değerlendirmek açısından önemlidir.

Deneysel olarak zorlanmış taşınım ısı transferi çalışmaları, termokupllar, akı ölçerler ve partikül görüntüleme yöntemleri gibi çeşitli ölçüm tekniklerini içerir. Adeyinka ve Naterer [13], bir hava kanadında termokupllar ve akı ölçer kullanarak ısı transferi oranlarını ölçmüş ve deneysel verileri Nusselt sayısına göre korelasyonlarla ifade etmiştir. Benzer şekilde, Jang ve Jeong [14], bir buzdolabı kompresöründeki taşınım ısı transfer oranlarını ölçmek için termokupl kullanmış ve soğutucu akışkanın basınç ve sıcaklık ölçümleri ile sayısal simülasyonlar gerçekleştirmiştir.

Laguerre vd. [15], düşük hızlı bir hava akışında duvar ve paketlenmiş bir yatak (3,8 cm çapında küreler) arasındaki taşınım ısı transfer katsayısını ölçmek için bir akı ölçer kullanmıştır. Akyol ve Bilen [16] ise yatay dikdörtgen bir kanalda sürtünme ve ısı transferini incelemek için bir deney düzeneği geliştirmiş, yüzey boyunca sıcaklıkları ölçmek için termokupullar yerleştirmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen korelasyonlar, zorlanmış taşınım ısı transferinin farklı konfigürasyonlarda nasıl değiştiğini anlamamıza katkı sağlar.

Sayısal modellemeler de zorlanmış taşınım ısı transferi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Amoura vd. [17], iki eksenel dönen silindir arasındaki bir kesit alanında Newtonsal olmayan bir akış modellemiş ve bu çalışmada Reynolds (Re), Grashof (Gr) ve Weissenberg (We) sayılarının etkilerini incelemiştir. Ayrıca, Aydın ve Kaya'nın [12] çalışması gibi birçok sayısal çalışma, finite element ve finite difference yöntemleriyle ısı transferi katsayısını, Prandtl ve diğer boyutsuz sayılarla ilişkilendirerek korelasyonlar elde etmiştir. Bu tür çalışmalar, duvar yakınında yüksek çözünürlüklü ağ yapısı gerektirir ve taşınım ısı transferinin genel korelasyonları açısından bazı sınırlamalara sahiptir.

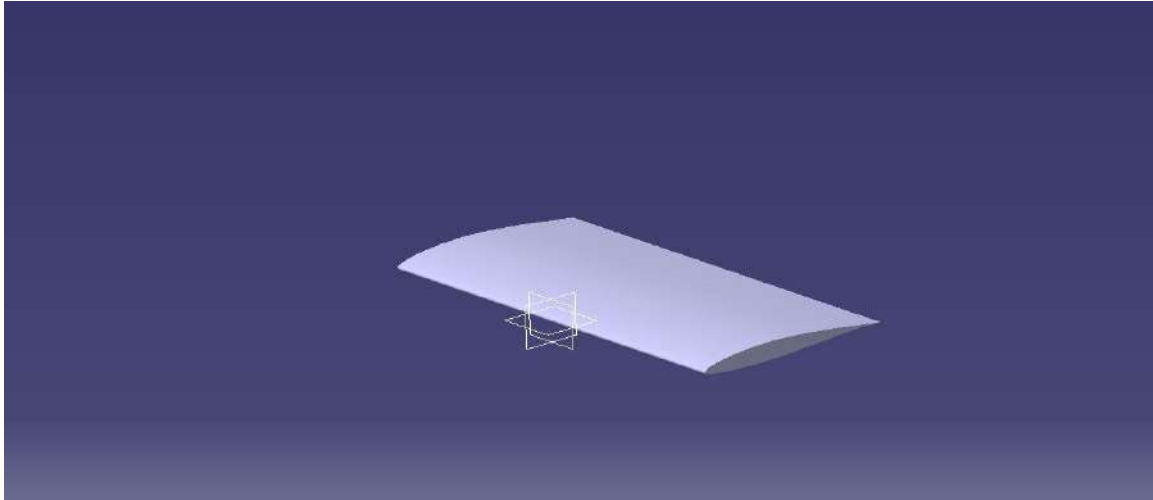
Sonuç olarak, zorlanmış taşınım ısı transferi üzerine yapılan bu deneysel ve sayısal çalışmalar, Nusselt sayısının hesaplanmasında kullanılan korelasyonların doğruluğunu artırmaktadır. Bu çalışmalarda kullanılan ampirik korelasyonlar ve deneysel yöntemler, zorlanmış taşınım ısı transferinin daha iyi anlaşılmasına ve mühendislik uygulamalarında verimli çözümler geliştirilmesine katkıda bulunur. Bu bağlamda, bu çalışmada kanat etrafında zorlanmış taşınım ısı transferine dair korelasyonların geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışma, NACA 63421 kanat profiline sahip bir kanat geometrisinin sıcaklık değişimlerini ve akış özelliklerini incelemeyi amaçlamaktadır. NACA 63421 profili, düşük sürüklenme ve yüksek kaldırma özellikleri ile bilinir; bu da onu genellikle düşük hızlı, yüksek performans gereksinimleri olan hava taşıtlarında tercih edilen bir profil haline getirir. Çalışmada, kanat yüzeyindeki sıcaklık dağılımını belirlemek için üç farklı analiz yaklaşımı benimsenmiştir: türbülanssız (laminer) analiz, k-epsilon türbülans modeli ile analiz ve Spalart-Allmaras türbülans modeli ile analiz. Bu farklı analizlerin karşılaştırılması, NACA 63421 kanat profilinin türbülans koşullarında nasıl davrandığını anlamamıza ve kanat yüzeyindeki sıcaklık dağılımlarının türbülans etkisiyle nasıl değiştiğini gözlemlememize olanak sağlayacaktır. Bu çalışmanın temel amacı, NACA 63421 profiline sahip bir kanadın yüzeyindeki sıcaklık dağılımının farklı türbülans koşullarında nasıl değiştiğini gözlemlemektir. Laminer, k-epsilon ve Spalart-Allmaras modellerinin sonuçları karşılaştırılarak türbülansın sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisi anlaşılacaktır. Bu çalışma, türbülanslı akışın kanat yüzeyindeki sıcaklık değişimlerine olan etkisini detaylandırarak, ısı transferinin optimize edilmesi ve kanat tasarımında daha verimli malzeme seçimlerinin yapılabilmesi için temel bir rehber oluşturmayı amaçlamaktadır. Sonuç olarak, bu çalışmadan elde edilecek veriler, havacılık mühendisliğinde kanat tasarımı, verimlilik artışı ve sıcaklık kontrol stratejilerinin geliştirilmesi gibi alanlarda önemli katkılar sunacaktır. Bu analizler, uçak performansını artırma, yakıt tasarrufu sağlama ve güvenliği iyileştirme açısından mühendislik hesaplamalarına ışık tutacaktır. Bu çalışma, NACA 63421 kanat profilinde türbülans modellerinin ısı transferine olan etkilerini karşılaştırarak aerodinamik performans ile termal yönetim arasındaki ilişkiyi detaylandırmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölüm, bir NACA kanadından zorlanmış taşınım ısı transferinin deneysel kurulumu ile ilgili bilgileri içermektedir. Deneysel alan, 916 x 916 mm boyutlarında dikdörtgen bir kanal olarak tasarlanmıştır. Test alanının duvarları şeffaftır, bu sayede gözlemler ve fotoğraflar kolaylıkla elde edilebilir. Test parçası olan kanat, test alanında yatay olarak monte edilmiştir. Rüzgâr tüneline hız 42 m/s'ye kadar artırılabilir ve sıcaklık -35 °C'ye kadar düşürülebilmektedir. Hava hızı, fan motorunun çalışma frekansı değiştirilerek bir elektrik kontrol paneli aracılığıyla ayarlanır. Rüzgâr tüneline kurulumu ve ilgili enstrümantasyon ile ilgili daha fazla detay, daha önce Naterer vd. [13] tarafından belgelenmiştir.

Deneysel çalışmalar için bir rüzgâr türbini modelinin prototip kanadı üretilmiştir. NACA-63421 profiline sahip rüzgâr türbini kanadının temsili için bir 3D tasarım yazılımı olan Catia V5 kullanılmıştır. Analiz ise Ansys-Fluent ile gerçekleştirilmiştir. Kanadın merkez kısmı, ağırlığını azaltmak amacıyla boşaltılmıştır. Kanadın görünümü ve kord uzunluğu Şekil 1'de gösterilmektedir. Kanat kordonu, kanat açıklığı ve kalınlığı sırasıyla 500 mm, 187,5 mm ve 100 mm'dir. Toplam açıklık 187,5 mm olacak şekilde her biri 62,5 mm açıklığında üç kanat parçası yan yana yerleştirilmiştir. Kanat duvarının kalınlığı 3 mm'dir. Kanat, fiberglas malzemeden üretilmiş ve rüzgâr tüneline test alanı içinde alüminyum bir çerçeveye monte edilmiştir. Kanat yüzeyinin hem iç hem de dış kenarlarında T-tipi termokupllar yerleştirilmiştir. Termokupl bağlantı noktaları, kanat etrafında çeşitli pozisyonlarda her yüzeye sıfır seviyesinde yerleştirilmiştir. Tüm termokupl kabloları, kanadın iç kısmında toplanmıştır.



Şekil 4. NACA-63421 kanadının geometrisi ve kord görünümü

Kanat üzerindeki taşınım ısı transferi hızı, Denklem 1'deki gibi belirlenmektedir:

$$q_{\text{con}} = h(T_0 - T_1) \quad (\text{Denklem 1})$$

Burada, q_{con} ısı transfer hızı (W/m^2), h ısı transfer katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$), T_0 çıkış yüzey sıcaklığı (K), T_1 akışkan madde sıcaklığını (K) ifade eder. Denklem 1 yeniden düzenlenerek ısı transfer katsayısı h Denklem 2'deki gibi ifade edilir:

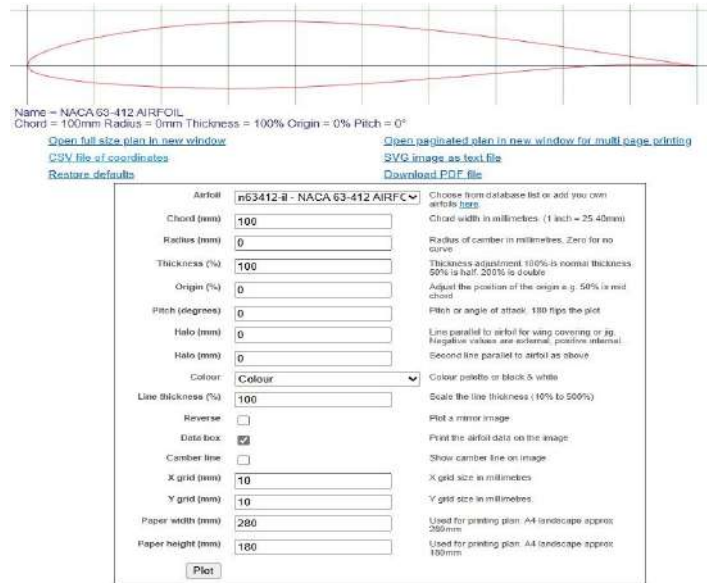
$$h = q_{con} / (T_o - T_1) \quad (\text{Denklem 2})$$

Kanatın yüzeyinin altındaki ısıtma bantları, ısı girişi kaynağı sağlar ve bu ısı, ince kanat yüzeyi boyunca iletim yoluyla dış hava akışına taşınır. Yüzeye dik ısı iletimi, ince yüzey üzerindeki yüksek sıcaklık farkı nedeniyle yanlamasına ısı iletiminden çok daha büyüktür. Bu nedenle, dikey Fourier ısı akışı, çevredeki hava akışına taşınan ısı transfer oranını dengeler ve bu Denklem 3'te ifade edilmiştir:

$$q_{con} = q_{cd} = k \cdot (T_{in} - T_o) / d (T_o - T_1) \quad (\text{Denklem 3})$$

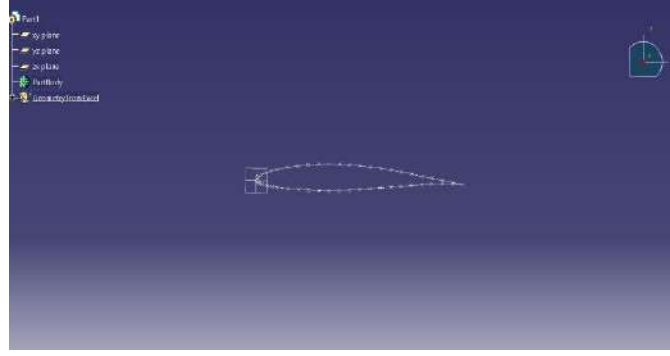
Burada, q_{cd} iletim yoluyla ısı akısı (W/m^2), k malzemenin ısı iletkenliği ($W/(m \cdot K)$), T_{in} giriş yüzey sıcaklığı (K) ve d yüzeyin kalınlığını (m) ifade etmektedir.

Çalışmanın çizim dosyasının oluşturulması için Ref. [18]'ten yararlanılmıştır. Kanat geometrisinin seçimi NACA 63421 olarak ayarlandıktan sonra gerekli ölçülendirme değerleri girilerek koordinat dosyası .csv formatında indirilerek makro işlemi öncesinde hazır hale getirilmiştir.



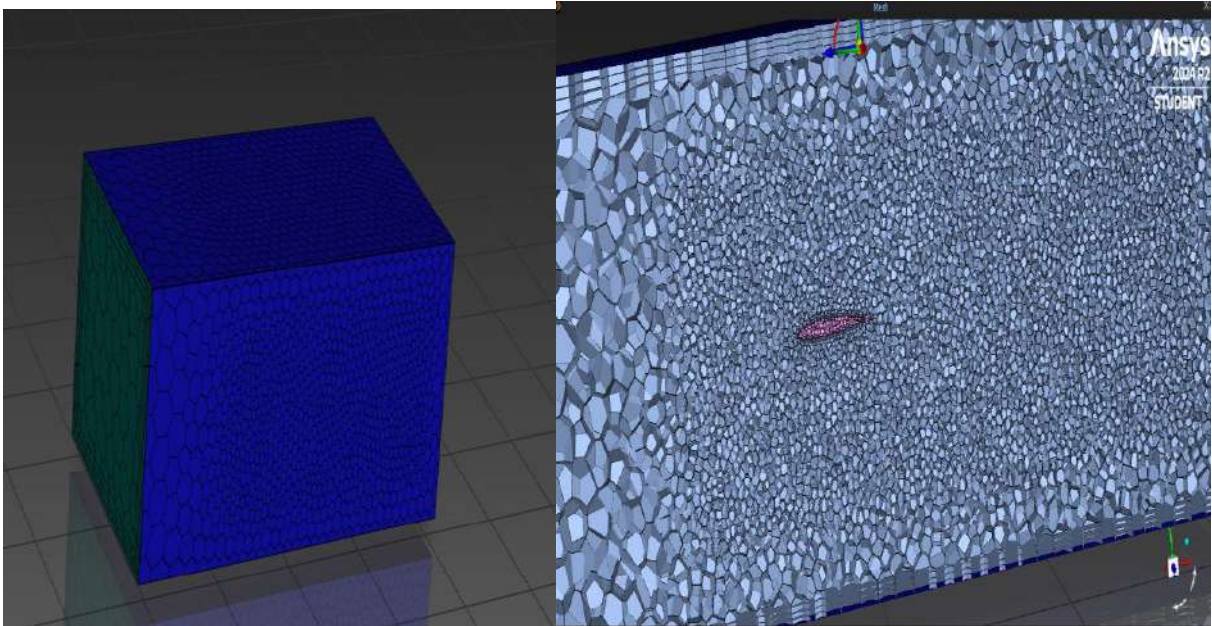
Şekil 2 – Airfoil plotter ile kanat profilinin koordinat bilgileri

İndirilen koordinat bilgilerinin ardından Catia yazılımı içerisinde firma tarafından karmaşık koordinat sistemlerinin çizimini sağlayan excel makroları kullanılarak hem noktasal değerler hem de bu değerlerin bağlandığı spline çizimi otomatik olarak yapılmış ve Şekil 3'te görüldüğü gibi kanat profili oluşturulmuştur.

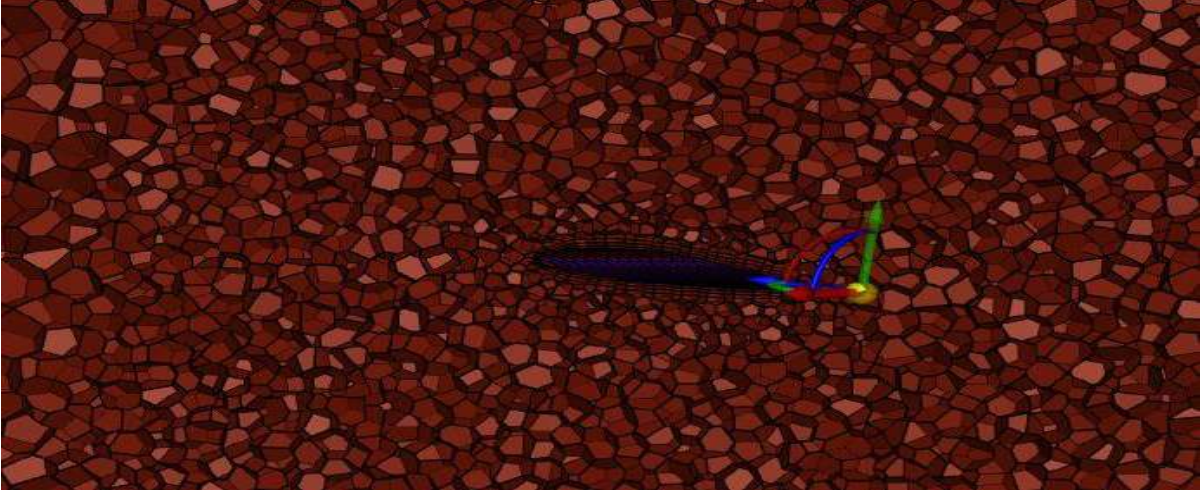


Şekil 3 – Makro işlemi sonrası çizdirilmiş kanat geometrisi.

Kanat geometrisine Fluent-Meshing ile meshing işlemi yapılmıştır. Son zamanlarda CFD çözümlerinde sıklıkla kullanılan polyhedra mesh kullanılmıştır. Kanat geometrisinin olduğu ve türbülans etkilerinin daha detaylı olarak incelenebilmesi için gerekli görülen bölgeye body of influence eklenmesi işlemi yapılmıştır. Şekil 4 ve Şekil 5, meshing işleminin ardından elde edilen modelin detaylarını göstermektedir. BOI (body of influence) bölgesinde daha yoğun ve küçük boyutlu ağ elemanlarının kullanıldığı görülmektedir. Hacim mesh işlemi sonrasında toplam 165.600 adet mesh elemanı kullanıldığı görülmektedir. Eğrilik (skewness) kalite değeri maksimum 0,83 olarak bulunmuştur. Ortogonalite değeri ise ortalama 0,94 olarak sonuçlanmıştır. Bu değerler hacim mesh işlemi için yeterli sayılabilecek düzeydedir.

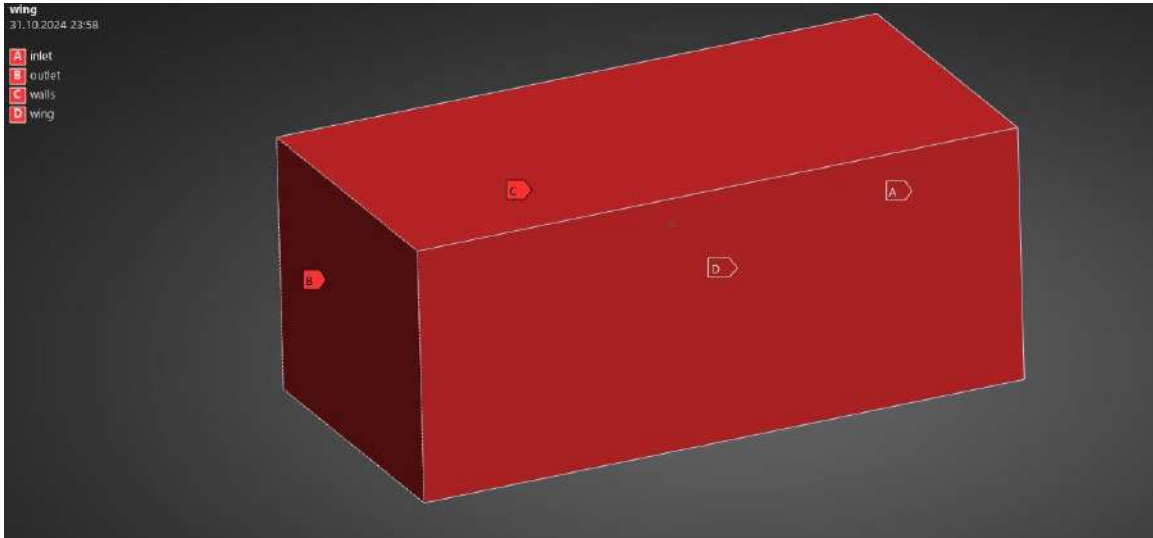


Şekil 4. Kanat geometrisinin hacim meshi



Şekil 5. Hacim mesh

Şekil 6’da oluşturulan akış hacminin sınır koşulları giriş, çıkış, duvar ve kanat profili sistem üzerinde yapılan atamalarla belirlenmiştir.



Şekil 6 – Akış hacminin sınır koşullarının belirlenmesi işlemi.

Isı transferi problemlerinin çözümü yapılacağından, öncelikle enerji denklemleri aktif edilir. Sonrasında ise hava materyal tanımında yoğunluğun değişken olduğu tanımlanması yapılacağı için yoğunluk kısmı sıkıştırılmaz ideal gaz olarak seçilir. Bu sayede yoğunluk sıcaklığa bağlı olarak gerçek durumlardaki gibi değişkenlik gösterecektir. Yerçekimi etkilerinin sistemde modellenebilmesi için yerçekimi aktif edilir. Bu ilk model için akışın türbülanssız olduğu bir çözüm yapılacaktır. Diğer modeller için türbülans çözümü eklenecektir. Amaç türbülansın ısı transferi üzerinde etkilerinin incelenmesidir. Tanımlanan akışkan daha sonra cell zone conditions sekmesinden akış hacmi için tanımlanır. Bu tanımlamada yapıldıktan sonra sıra sınır koşullarının tanımlanması işlemine gelmektedir. Sınır koşulları tanımlamasında ilk olarak giriş (inlet) kısmı tanımlanır. Giriş koşulları için hız olarak 42 m/s hız tanımlanır. Sıcaklık olarak ise araştırmada da kullanılan sıcaklığa yakın olması bakımından 250 K olarak tanımlanmıştır. Çıkış için sıcaklık, ortalama hava sıcaklığı olan 273 K olarak alınmıştır ve akış dış havaya açılacağı

için basınç değeri Gauge Pressure olarak tanımlanmıştır. Kanat bölgesi için gerekli tanımlama yapıldıktan sonra kalan kısımlar duvar olarak tanımlanır ve sınır koşulları işlemi tamamlanmış olur. Monitör işlemleri için gerekli yüzeylerdeki sıcaklık gradyanlarının incelenmesi ve yakınsama (convergence) işleminin analiz edilmesi için monitör eklenir. İlk olarak kanat yüzeyindeki ortalama sıcaklık değerleri için monitör eklenir. Son olarak ise çıkış yüzeyindeki sıcaklık dağılımı monitör edilerek işlem tamamlanır ve intialize işlemi ile ilk iterasyonların çözüm işlemi yapılır. Ardından 400 iterasyon ile çözüm işlemleri başlatılır ve sonucunda ise çözücü işlemi tamamlanır.

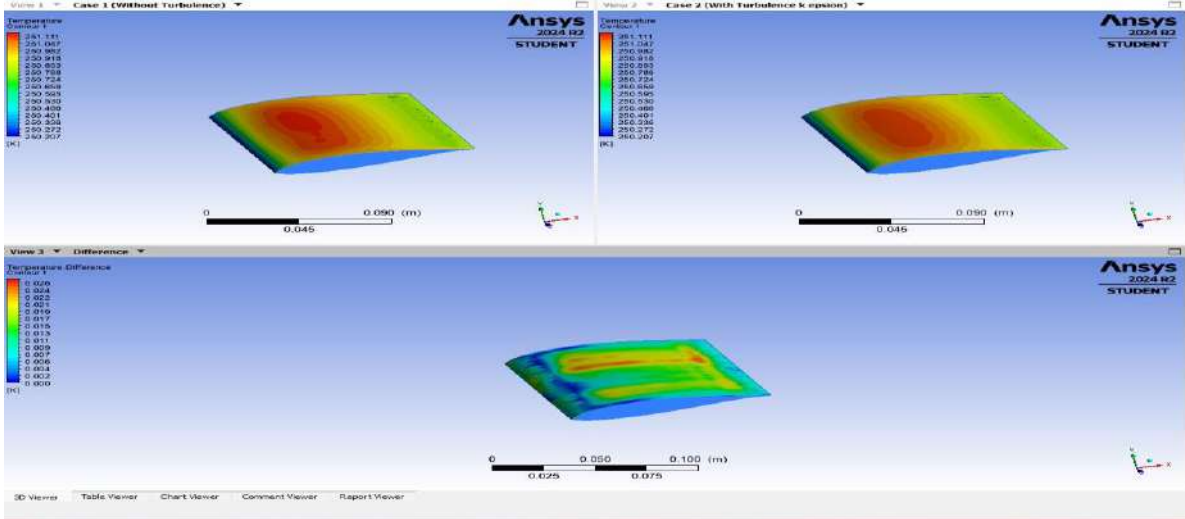
K-epsilon türbülans modeli için kanat geometrisinin çözümlenme (solving) işleminde, laminer akış için tanımlanmış olan çözücü işlemi kopyalanarak aynı geometri ve ağ (mesh) düzeni korunur. Bu durum için sadece türbülans kısmında standart k-epsilon modeli seçilir ve diğer unsurlarda bir değişim olmadan iterasyon işlemi yapılarak çözüm işlemi tamamlanır. Spalart-Allmaras türbülans modeli için kanat geometrisinin çözümlenme (solving) işleminde, diğer çözüm işlemi aynı şekilde kopyalanarak türbülans modeli olarak SA türbülans modeli seçilir. Bu model özellikle dış akış problemlerinde oldukça başarılı ve ekonomik olduğu için tercih edilmektedir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, bir kanat geometrisi üzerinde üç farklı analiz gerçekleştirilmiştir: laminer, k-epsilon ve Spalart-Allmaras modelleri. Bu analizlerin sonuçları, akışın laminer veya türbülanslı olduğu durumlarda kanat üzerindeki akış davranışlarını anlamamıza ve her modelin kanat üzerindeki etkilerini değerlendirmemize olanak sağlar.

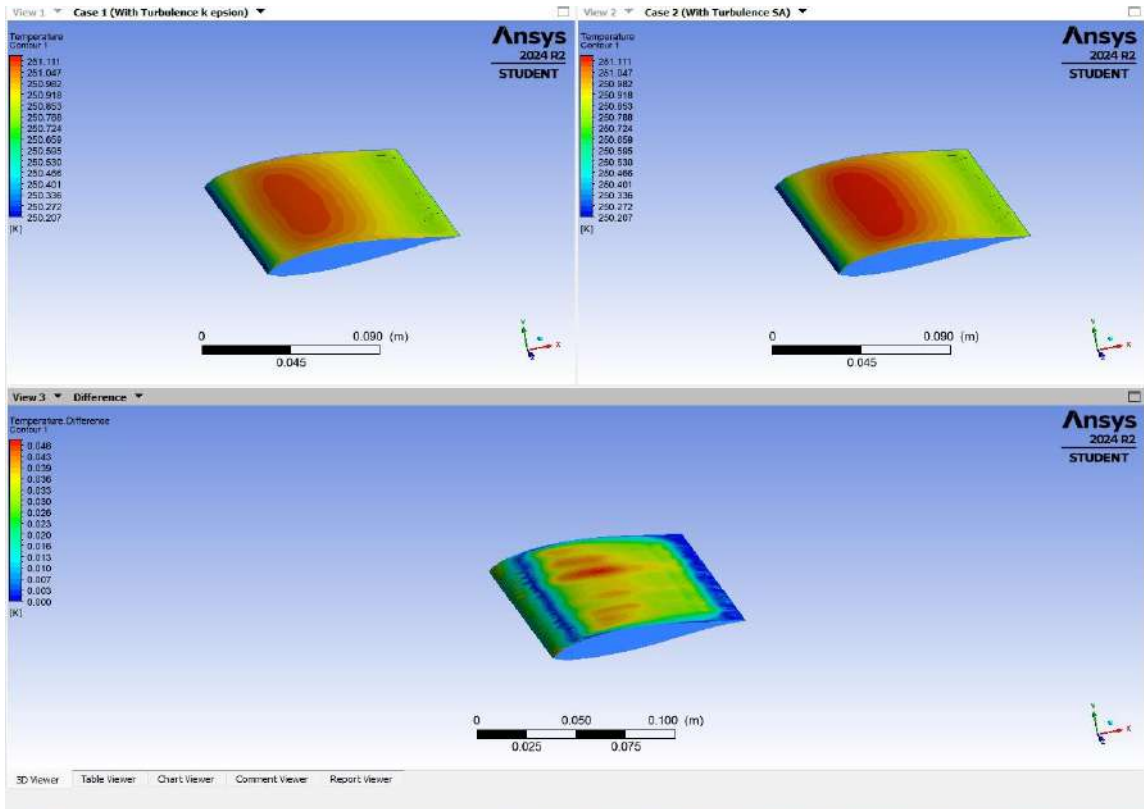
Analiz sonuçlarının ağ yapısından (mesh) bağımsız olduğunu doğrulamak için farklı bir ağ yapısıyla aynı koşullar altında bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analiz için hazırlanan ağ yapısında toplam 213.819 adet eleman kullanılmıştır. Kalite değerleri; eğrilik (skewness) kalite değeri maksimum 0,79 olarak, ortogonalite değeri ise ortalama 0,99 olarak sonuçlanmıştır. Bu ağ yapısı analizde kullanılan diğer ağ yapısından daha yüksek kalite standartlarına ve eleman yoğunluğuna sahiptir. Kanat yüzeyindeki sıcaklık farkı %0,007, hız vektörlerindeki fark ise %0,006 olarak tespit edilmiştir. Bu durumda sonuç kısmında farkın kabul edilebilir düzeyde olduğu görüldüğü için bu analiz ağ yapısı bakımından bağımsız olarak kabul edilebilir.

Laminer akışlı modelleme ile k-epsilon türbülans modelinin karşılaştırmalı görüntüsü ve aralarında oluşan sıcaklık farkının geometri üzerindeki dağılımı Şekil 8'de sunulmuştur. Bu farklar, türbülansın neden olduğu sıcaklık değişimlerini açıkça göstermektedir.



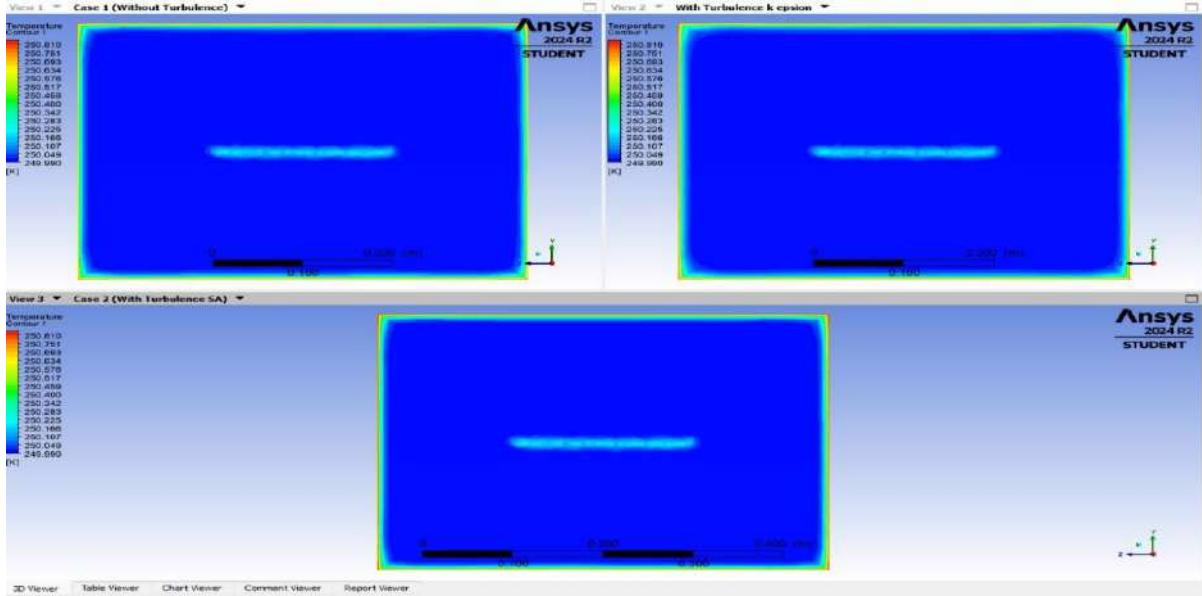
Şekil 8 – Laminer akış ile k-epsilon modelinin kıyaslanması

K-epsilon ile Spalart-Allmaras türbülans modellerinin ayrı ayrı sıcaklık gradyen dağılımları ve aralarında oluşan sıcaklık farklarının kanat geometrisi üzerindeki gösterimi Şekil 9’da gösterilmektedir. Bu durumda iki farklı türbülans modelinde oluşan farkların temel sebebi, SA türbülans modelinin dış akış çözümlemesinde daha detaylı modelleme yapmasından kaynaklanmaktadır.



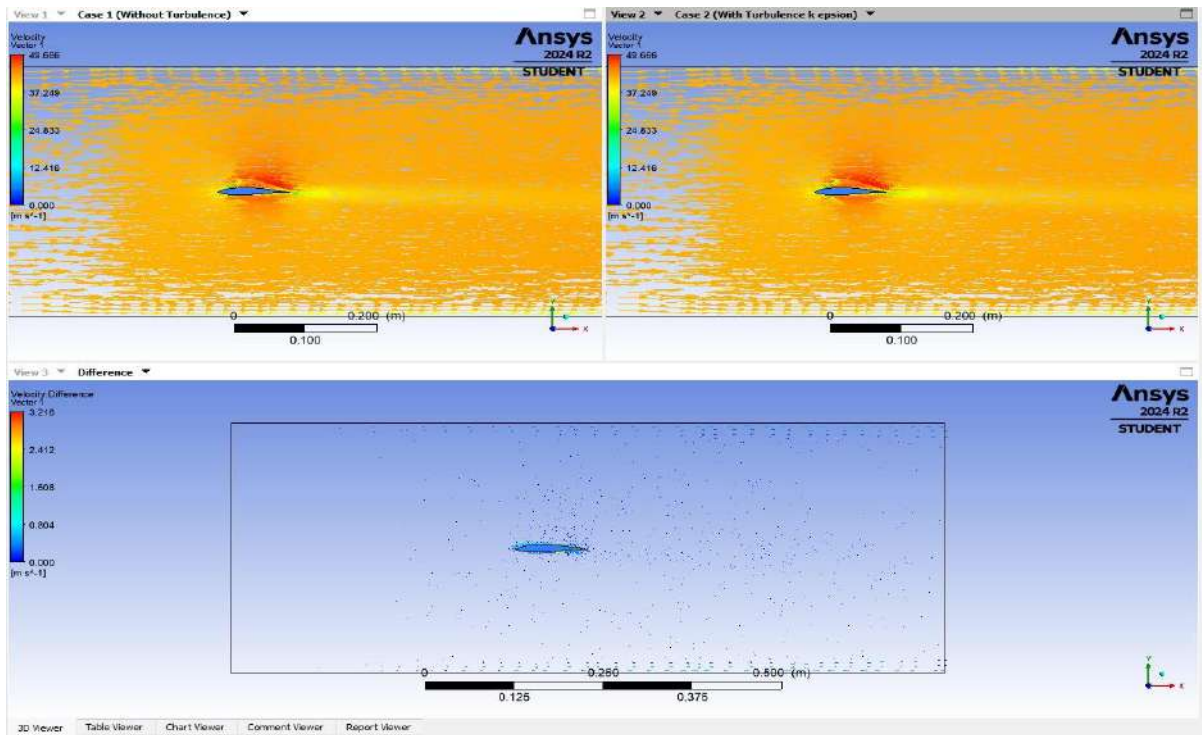
Şekil 9 – k-epsilon ile Spalart-Allmaras türbülans modellerinin kıyaslanması

Şekil 10'da ise kanat geometrisinin 10 mm arkasındaki sıcaklık dağılımı, üç farklı analiz sonucu için ayrı ayrı gösterilmektedir. Bu durumda ise sıcaklık değerlerini fazla farklı olmadığı ve genel olarak aynı değerde seyrettiği sonucuna ulaşılır.



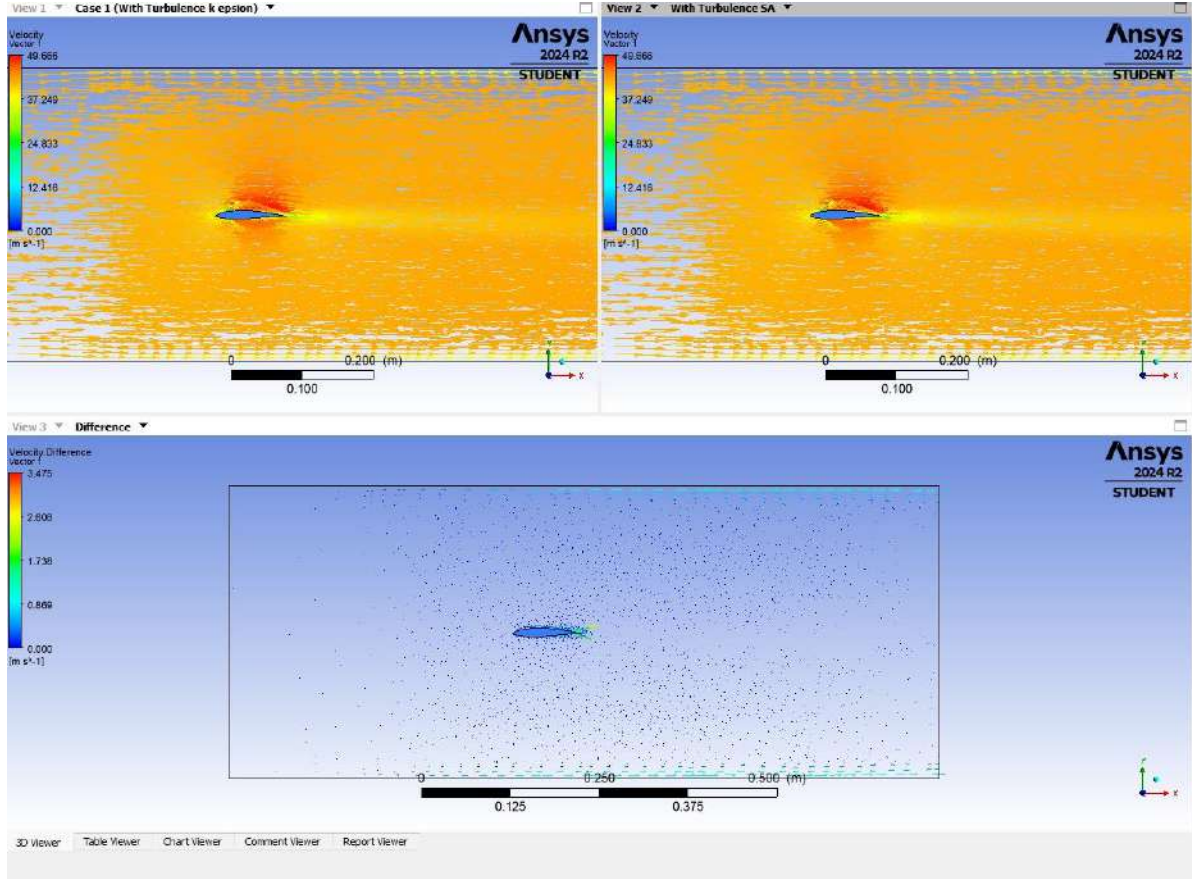
Şekil 10 –Analiz modellerinin geometrinin 10mm arkasındaki sıcaklık dağılımları

Şekil 11'de kanat geometrisi etrafında oluşan hız vektörlerinin laminar akış ve k-epsilon modellenmesi ile kıyaslanması mevcuttur. Bu durumda hız vektörlerinde ayrım bölgesi haricinde kalan alanlarda önemli bir fark gözlemlenmemektedir. Bu durum, türbülans etkilerinin bir yansıması olarak değerlendirilebilir. Eğer hız değeri arttırılırsa bu durumda oluşacak farklılıklar çok daha detaylı olarak farklılaşacaktır.



Şekil 11 – Laminer akış ile k-epsilon analiz modellerinin hız vektörleri olarak kıyaslanması

Şekil 12’de ise k-epsilon ile Spalart-Allmaras türbülans modellerinin hız vektörleri özelinde karşılaştırmaları görüntülenmektedir. Bu durumda ise sadece ayrım bölgesi değil diğer bölgelerde de düşüğe olsa bir farkın gözüktüğü söylenebilir. Bu durumun nedeni, daha önce belirtildiği gibi SA modelinin türbülansı daha detaylı modellemesidir.



Şekil 12 –K-epsilon ile SA türbülans analiz modellerinin hız vektörleri olarak kıyaslanması

Bu çalışmada, kanat üzerindeki ısı transferi üç farklı akış türü dikkate alınarak incelenmiştir. Kanadın arka bölgelerinde Nusselt sayıları, akış türüne bağlı olarak hesaplanmış ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Nusselt sayısı (N_u) bir ısı transferi parametresidir ve konvektif ısı transferinin etkinliğini ifade eder. Bir akışkanın içinde ısı transferinin etkinliğini ölçen bir boyutsuz sayıdır. Nusselt sayısı, genellikle sıcaklık gradyanı ve ısı iletimi arasındaki ilişkiyi tanımlar. Yüksek Nusselt sayısı, ısı transferinin etkin olduğunu, yani ısı iletiminin yüksek hızla gerçekleştiğini gösterir. Bu durum, zorlanmış konveksiyonun güçlü olduğu, yüzeyin pürüzlü veya akışkanın hızının yüksek olduğu koşullarda görülür. Düşük Nusselt sayısı ise ısı transferinin düşük olduğu, genellikle doğal konveksiyonun ve düşük hızdaki akışların olduğu sistemlerde görülür. Bu sayede, projelerde Nusselt sayısının analizi, ısı transfer performansının değerlendirilmesine yardımcı olur.

Nusselt sayısının hesaplamasında, kanadın arka kısmındaki (trailing edge) belirli bölgeler referans alınmıştır. Bu bölgeler, türbülans modelinin etkilerinin daha belirgin olduğu ve ısı transferinin kritik bir rol oynadığı alanlar olarak değerlendirilmiştir.

Kanadın arka bölgelerinde hesaplanan Nusselt sayıları aşağıdaki gibidir:

- **Laminer Akış:** Laminer akışta, ısı transferi sadece moleküler difüzyonla gerçekleşir. Düşük türbülans nedeniyle ısı transferi sınırlı kalmış ve ortalama N_u değeri **20- 50** olarak belirlenmiştir.
- **k-ε:** Türbülanslı akışın karışımı artırması nedeniyle ısı transferi belirgin şekilde yüksektir. Türbülansın etkisiyle ısı transferi artmış ve ortalama N_u değeri **300- 500** olarak hesaplanmıştır.
- **Spalart-Allmaras Türbülans Modeli:** SA modeli, türbülanslı sınır tabakası akışını daha detaylı şekilde modellediği için N_u değerleri yükselir. Özellikle sınır tabakasındaki akış yapısını iyi temsil eden bu modelde, ortalama N_u değeri **300- 500** olarak bulunmuştur.

Türbülanslı akışta, akışın düzensiz ve karışık yapısı sayesinde, daha fazla karışım ve ısı transferi sağlanır, bu da Nusselt sayısının artmasına sebep olur ve akışın karmaşık şekilde hareketlerini simüle eden türbülans modelleri, daha fazla enerji ve ısı taşınması sağlar. Dolayısıyla türbülanslı akış için hesaplanan Nusselt sayısı, laminar akışa göre çok daha yüksektir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, NACA 63421 kanat profili üzerinde laminar akış, k-epsilon ve Spalart-Allmaras türbülans modelleri kullanılarak üç farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin sonuçları, akışın laminar veya türbülanslı olduğu durumlarda kanat üzerindeki akış davranışlarını daha iyi anlamamıza ve her modelin kanat üzerindeki etkilerini değerlendirmemize olanak sağlamıştır. Laminer akışta, düşük hız ve düşük dirençli akışlar için uygun olan modelin, akışın düzenli ve stabil olması nedeniyle sınırlı ısı transferi sağladığı gözlemlenmiştir. Türbülanslı modeller ise yüksek hızlarda daha kararlı ve güvenilir sonuçlar vermiştir. Özellikle türbülans etkisinin daha belirgin olduğu bölgelerde, ısı transferi önemli ölçüde artmış ve bu durum tasarım açısından avantaj sağlamıştır.

Türbülanslı akışlarda, akışkanın karışması ve eddy hareketleri sayesinde ısı transferinin etkinliği artmaktadır, bu da Nusselt sayılarının daha yüksek çıkmasına neden olmuştur. Türbülans etkisi, özellikle kanat arkasındaki bölgelerde ısı transferini artırarak daha verimli tasarımlar için önemli bir parametre sunmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma, havacılık mühendisliğinde kanat tasarımı ve ısı transferi optimizasyonuna önemli katkılar sağlamaktadır. Özellikle düşük hızda yüksek performans gerektiren uçaklarda, türbülans etkilerinin doğru bir şekilde modellenmesi, aerodinamik verimliliği artırabilir ve enerji yönetimini optimize edebilir. Gelecekteki çalışmalar, farklı kanat geometrileri ve akış koşulları altında türbülans modellerinin daha geniş bir yelpazede incelenmesi gerektiğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Z. Zhao, W. Huang, L. Yan, ve Y. Yang, “An overview of research on wide-speed range waverider configuration”, *Prog. Aerosp. Sci.*, c. 113, s. 100606, Şub. 2020, doi: 10.1016/j.paerosci.2020.100606.
- [2] A. M. Rayhan, M. S. Hossain, R. H. Mim, ve M. Ali, “Computational and experimental study on the aerodynamic performance of NACA 4412 airfoil with slot and groove”, *Heliyon*, c. 10, sayı 11, s. e31595, Haz. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e31595.
- [3] O. Bayer, “Tam Gelişmiş Türbülanslı İç Akışta Kanatçıklı Yapılar Üzerinde Zorlanmış Taşınım Korelasyonu Eldesi: Parametrik Deneysel Analiz”, *Uludağ Univ. J. Fac. Eng.*, c. 23, sayı 1, ss. 417–430, Nis. 2018, doi: 10.17482/uumfd.376556.
- [4] X. Wang, E. Bibeau, ve G. F. Naterer, “Experimental correlation of forced convection heat transfer from a NACA airfoil”, *Exp. Therm. Fluid Sci.*, c. 31, sayı 8, ss. 1073–1082, Ağu. 2007, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2006.11.008.
- [5] J. B. Will, N. P. Kruyt, ve C. H. Venner, “An experimental study of forced convective heat transfer from smooth, solid spheres”, *Int. J. Heat Mass Transf.*, c. 109, ss. 1059–1067, Haz. 2017, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.02.018.
- [6] Z. Altaç ve N. Mahir, “A comparative assessment of turbulent forced convection heat transfer from a single cylinder using RANS and les models”, *Isi Bilim. Ve Tek. Dergisi/ J. Therm. Sci. Technol.*, c. 38, sayı 1, ss. 11–24, 2018.
- [7] Y. Hadad ve K. Jafarpur, “MODELING OF LAMINAR FORCED CONVECTION HEAT TRANSFER IN PACKED BEDS WITH PEBBLES OF ARBITRARY GEOMETRY”, *J. Porous Media*, c. 16, sayı 11, ss. 1049–1061, 2013, doi: 10.1615/JPorMedia.v16.i11.80.
- [8] G. Fortin, J.-L. Laforte, ve A. Ilinca, “Heat and mass transfer during ice accretion on aircraft wings with an improved roughness model”, *Int. J. Therm. Sci.*, c. 45, sayı 6, ss. 595–606, Haz. 2006, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2005.07.006.
- [9] C.-Y. Cheng, “The effect of temperature-dependent viscosity on the natural convection heat transfer from a horizontal isothermal cylinder of elliptic cross section”, *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, c. 33, sayı 8, ss. 1021–1028, Eki. 2006, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2006.02.019.
- [10] S. Yagmur, S. Dogan, M. H. Aksoy, E. Canli, ve M. Ozgoren, “Experimental and Numerical Investigation of Flow Structures around Cylindrical Bluff Bodies”, *EPJ Web Conf.*, c. 92, s. 02113, May. 2015, doi: 10.1051/epjconf/20159202113.
- [11] M. R. Lekkala vd., “Recent advances in understanding the flow over bluff bodies with different geometries at moderate Reynolds numbers”, *Ocean Eng.*, c. 261, s. 111611, Eki. 2022, doi: 10.1016/j.oceaneng.2022.111611.
- [12] O. Aydin ve A. Kaya, “Mixed convection of a viscous dissipating fluid about a vertical flat plate”, *Appl. Math. Model.*, c. 31, sayı 5, ss. 843–853, 2007.
- [13] O. B. Adeyinka ve G. F. Naterer, “Particle image velocimetry based measurement of entropy production with free convection heat transfer”, *J. Heat Transf.*, c. 127, sayı 6, ss. 614–623, 2005.
- [14] K. Jang ve S. Jeong, “Experimental investigation on convective heat transfer mechanism in a scroll compressor”, *Int. J. Refrig.*, c. 29, sayı 5, ss. 744–753, 2006.
- [15] O. Laguerre, S. Ben Amara, ve D. Flick, “Heat transfer between wall and packed bed crossed by low velocity airflow”, *Appl. Therm. Eng.*, c. 26, sayı 16, ss. 1951–1960, Kas. 2006, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2006.01.011.
- [16] U. Akyol ve K. Bilen, “Heat transfer and thermal performance analysis of a surface with hollow rectangular fins”, *Appl. Therm. Eng.*, c. 26, sayı 2–3, ss. 209–216, Şub. 2006, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2005.05.014.
- [17] M. Amoura, N. Zeraibi, A. Smati, ve M. Gareche, “Finite element study of mixed convection for non-Newtonian fluid between two coaxial rotating cylinders”, *Int.*

- Commun. Heat Mass Transf.*, c. 33, sayı 6, ss. 780–789, Tem. 2006, doi:
10.1016/j.icheatmasstransfer.2006.02.020.
- [18] “Airfoil Tools”. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.airfoiltools.com/>

VİRAJ DENGİ ÇUBUKLARINDA DEKARBÜRİZASYON MİKTARININ YORULMA ÖMRÜNE ETKİSİ

ÖMER FARUK TALAY

PHI Metal Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş.,

omer.talay@phimetal.com.tr - 0009-0001-2784-4313

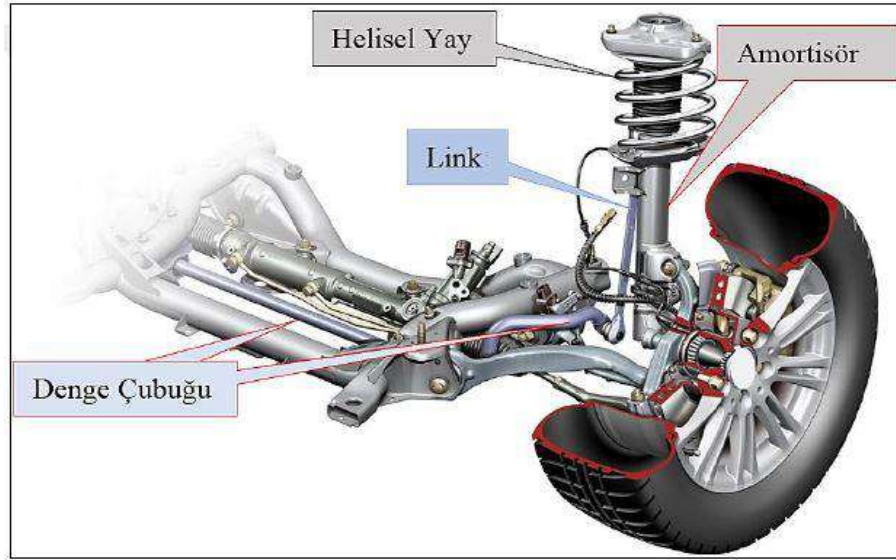
ÖZET

Viraj denge çubukları otomobilin virajda stabilizasyonunu sağlayan şaseye montajlanan süspansiyon parçasıdır. Viraj esnasında iki tekerlek arasında bağlantı kurarak otomobilin savrulmasını engeller. Süspansiyon parçası olduğundan çevrimli yüklere maruz kalmaktadır. Bu sebeple mukavemetinin, korozyon direncinin ve yorulma direncinin yüksek olması beklenir. Yorulma ömrünü etkileyen faktörler yüzey sertliği, yüzey kusuru ve parçanın mukavemetidir. Yorulma ömründe yüzey sertliği önemli bir faktördür. Akma gerilmesi altında parçaya etki eden kuvvetler parçanın yüzey bölgesinde mikro kaymalar oluşturur. Oluşan bu mikro plastik deformasyon parçanın yüzeyinde çukurcuklar oluşturarak çatlak çekirdeklenmesine sebebiyet vermektedir. Yüzeyde çekirdeklenen çatlak, çentik etkisi oluşturarak bölgesel gerilmelerin akma gerilmesinin üstüne bir değere ulaşması ile çatlağın parçanın merkezine doğru ilerlemesine neden olur. Ve parça kırılır. Viraj denge çubuklarında mukavemet artışı için ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Çubuklara şekil verildikten sonra östenite alınıp yağda su verilmektedir. Isıtma işlemi prosesinin doğası gereği yüksek sıcaklıklara çıkıldığı için çubukların yüzey kısımlarında dekarbürizasyon bölgeleri oluşmaktadır. Dekarbürizasyon parçanın yüzey sertliğini düşürmekte ve yüzeyde oluşan mikro plastik deformasyonu kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmada yüzeyde oluşan dekarbürizasyon miktarı ölçülmüştür. Dekarbürizasyonun parça yüzeyindeki sertliğine etkisi ve bu etkinin yorulma ömrüyle olan ilişki incelenmiştir. Dekarbürizasyon miktarı birbirinden farklı 4 adet numune soğuk bükülmüştür. Ardından 860 °C 'ye kondüksiyon ısıtma ile çıkarılıp tavllanmış sonrasında ise martenzit dönüşüm için yağda su verilmiştir. Parçaların tokluğunu arttırmak için 250 °C' de 1 saat temperlenmiştir. Çubuklar nihai ürün haline getirilmiştir. Aynı parametreler altında çubuklara yorma testi yapılmıştır. Sonrasında çubukların kırılan bölgelerinden numune alınıp dekarbürizasyon miktarı ve sertlik taraması yapılmıştır. Dekarbürizasyon miktarının sertliğe olan etkisi ve dekarbürizasyon ve sertlik değerlerinin parçanın yorulma ömrüne olan ilişkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yorulma direnci, Isıtma işlemi, Dekarbürizasyon, Viraj denge çubuğu.

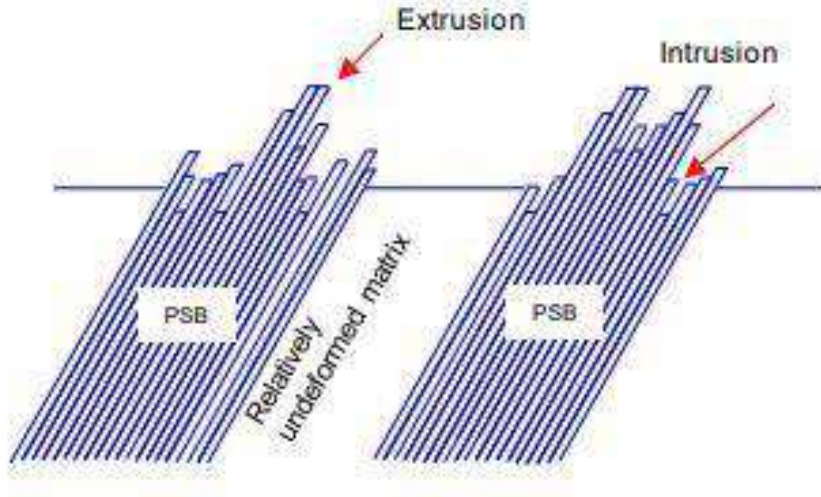
1. GİRİŞ

Viraj denge çubukları otomobilin lastiklerine bağlanarak 2 lastik arasındaki stabilizasyonu sağlamak için şase gövdesine montajlanan süspansiyon parçasıdır. İki tekerleği birbirine bağlayarak viraj sırasında aracın maruz kaldığı merkez kaç kuvvetini dengelemek için kullanılır. Otomobil viraj sırasında virajın aksi yöne doğru savrulur. Viraj denge çubuğu lastiklerin maruz kaldığı kuvvete zıt bir kuvvet oluşturarak aracın viraj sırasındaki stabilizasyonunu ve yol tutuşunu arttırmaya yarar. Aynı zamanda süspansiyon yayı gibi yoldaki engebe ve çukurların lastiğe uygulamış olduğu kuvvetleri de sönmülemeye yardımcı olur. Denge çubuğunun araçtaki konumu Görsel 1’de gösterilmektedir [1].



Görsel 5. Denge çubuğunun araçtaki konumu [1].

İşlevi gereği yüksek mukavemet ve yorulma direncine sahip olmalıdır. Yorulma direnci parçaya akma mukavemetinin altında çevrimli yüklere karşı gösterdiği direnç olarak tabir edilir. Yorulma kinetiğinde parçaya etkiyen kuvvetler parçayı kırmaya yetemez fakat bölgesel olarak parçada plastik şekil değişimi oluşturur. Parçanın yüzey bölgesinde oluşan mikro boyuttaki plastik deformasyon yüzey pürüzlülüğüne yol açar. Görsel 2’ de çevrimli yükler altında oluşan kaymalar gösterilmektedir [2].



Görsel 2. Yüzeyde oluşan kayma bantları [2].

Yüzeyde kaymalar meydana geldiği için uygulanan kuvvet parçada homojen olarak dağılmaz. Bölgesel gerilmeler plastik deformasyonun olduğu bölgelerde akma gerilmesinin üstüne çıkar ve çatlak çekirdeklenmesine sebep olur. Çekirdeklenen çatlak çevrimli yükler altında parçanın merkezine doğru ilerler ve parça kırılır. Yorulma ömrünün artırılması için parçanın yüzeyinde oluşan kaymaları engellemek gerekir. Bu sebeple parçanın taşıyabileceği maksimum yükü arttırmak aynı zamanda yüzeyi sertleştirerek oluşacak kaymaları engellemek için ısıtma işlemi uygulanır. Hammaddeden ya da uygulanan ısıtma işleminin sonucunda parçanın yüzeyinde dekarbürizasyon meydana gelebilir. Oluşan dekarbürizasyon bölgesi yorulma ömrünü olumsuz yönde etkiler. Parçanın ortalama sertliği yüksek olsa bile dekarbürizasyon bölgesinde karbon atomu katı ergiyik sertleşmesi sağlayamadığı için yüzey kısmının sertliği düşmektedir ve uygulanan gerilme altında yüzeyde oluşan mikro plastik şekil değişimi çentik etkisi oluşturarak parçanın kırılmasına neden olacaktır. Bu nedenle ısıtma işleminden çıkan çubuklar hem yüzey temizliği için hem de yüzeyde basma gerilmeleri oluşturarak yorulma ömrünü arttırmak için kumlama prosesinden geçirilir. Yüzeyde oluşan basma gerilmeleri çevrimli yüklerin oluşturduğu çekme gerilmelerini nötrlemektedir. Bu hususta parçada oluşan dekarbürizasyon miktarının belli bir boyutu aşmaması gerekir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

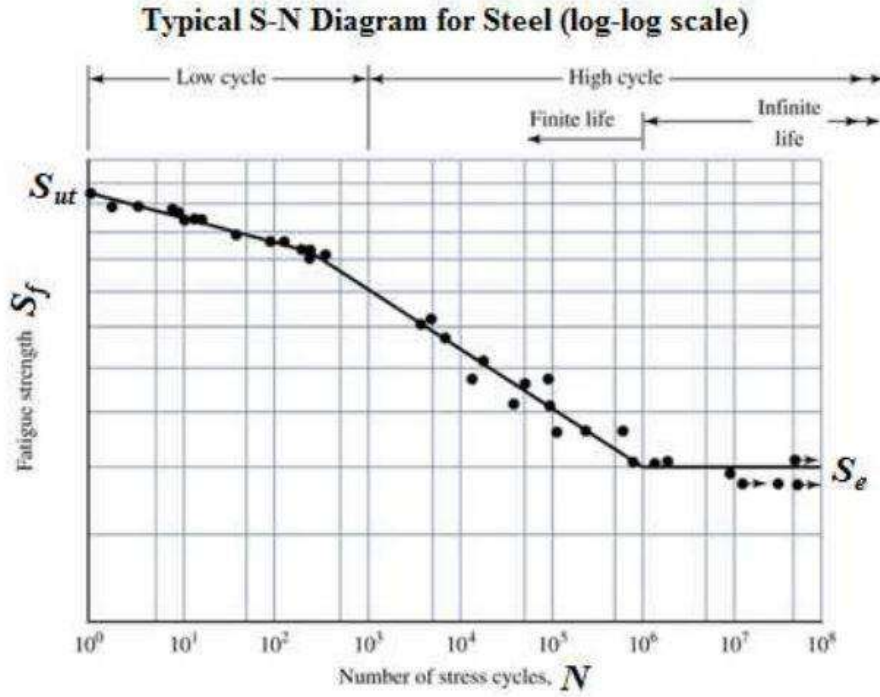
2.1. Stres Analizi

Phi Metal Otomotiv Sanayi Ticaret A.Ş. Fabrikasında üretilen denge çubuklarının tasarımı yapıldıktan sonra stres analizine tabi tutulmaktadır. Yapılan simülasyon çalışmasında çubuğun ömrü tayin edilmektedir. Görsel 3’ te stres analizi görülmektedir. Aynı zamanda çubuğun üzerine etkiyen maksimum stresi ve bu stresinde çubuğun hangi bölgesinde oluştuğu sonucuna varılır. S-N yorma ömrü grafiğinden çubuğun ömrü hesaplanır. Görsel 4’ te S-N eğrisi görülmektedir [3]. Yapılan simülasyon çalışması sonunda isterler karşılanırsa çubuğun üretimine geçilir. Eğer isterler karşılanmıyor ise yeni çubuk tasarımı yapılır.



Görsel 3. Stres analizi.

Analiz sonucunda çubuğun maksimum stres bölgesi omuz bölgesinde çıkmıştır. Çevrimli yükler altında denge çubuğu omuz bölgelerindeki stres parçanın ömrünü belirlemektedir. Akma mukavemetinin altında uygulanan yükler esnasında denge çubuğunun en fazla stres altında kalan bölgesi omuz bölgesi olduğu için mikro plastik deformasyonun en fazla olması beklenen yeri omuz bölgeleridir. Yüzey pürüzlülük değerini bozacak kusurlar, sertlikteki düşüş ve dekarbürizasyon miktarının en fazla etkileyeceği bölge de burasıdır. Yorulma ömrünü kötü etkileyecek durumlar (yüzey kusuru, dekarbürizasyon vb.) stresin minimum olduğu yerlerde tolere edilebilirken stresin maksimum olduğu yerde tolere edilemez.



Görsel 4. S-N yorulma ömrü grafiği [3].

2.2. Denge çubuğunun üretimi ve yorma testi

Denge çubuğu üretimine şekil verme prosesi ile başlanır. Kullanılan malzeme 34MnB5' tir. Çizelge 1' de kimyasal kompozisyonu verilmiştir. Perlit + ferrit mikroyapısına sahip düz çubuklara boru büküm makinesi ile şekil verilir. Ardından ısıtım işlem prosesine tabi tutulur.

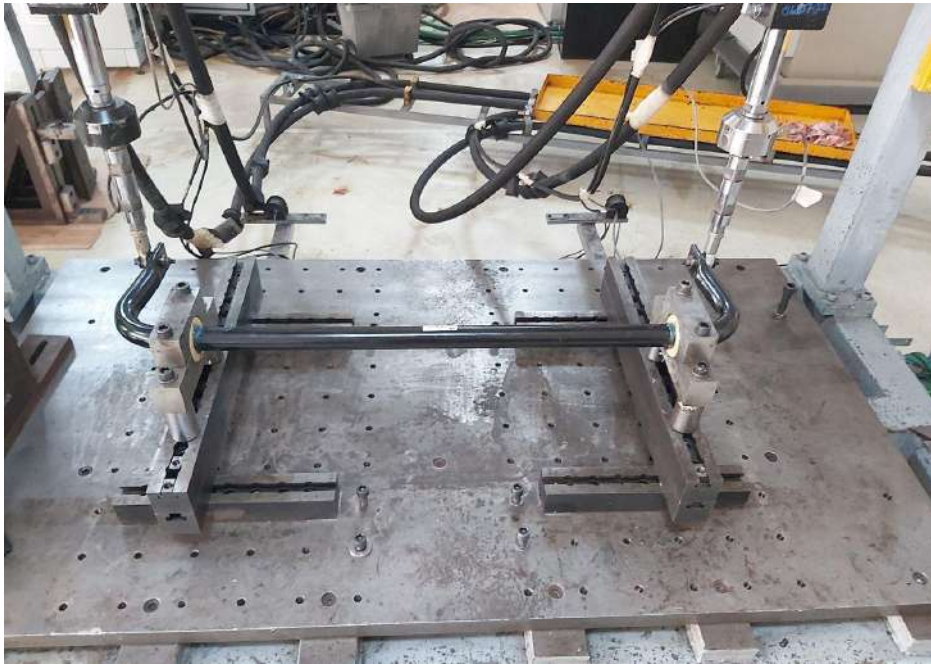
Kimyasal Kompozisyon (%)						
	C	Mn	Si	P	S	B
34MnB5	0.34	1.30	Max. 0.40	Max. 0.02	Max. 0.005	0.005

Çizelge 1. 34MnB5' in kimyasal kompozisyonu.

Şekil verilen çubuklar kondüksiyon ısıtma yöntemi ile çubuğa elektrik verilerek ısıtılır. 860 °C 'ye ısıtılan çubuklar bu sıcaklıkta östenite alınır. Çubuğun tavlama işlemi sırasında kondüksiyon yöntemi seçildiği için proste kalma süresi ehemmiyet kazanır. Prosesin doğası gereği sıcaklık doğrudan ayarlanabilir parametrelerden biri değildir. Çubuğun iki ucundan elektrik verildiği için amper, voltaj ve bekleme süresi prosesin parametreleridir. Tavlanan çubuk sürekli ısındığı için bekleme süresi aşılsa çubuk yüksek sıcaklıklara çıkacağı için yüzeyinde oksidasyon ve dekarbürizasyon kaçınılmaz olur. Arından yağda su verilir. Hedeflenen mikroyapı martenzittir. Martenzit dönüşümü sırasında YMK kafes sisteminden HMT kafes sistemine geçiş atomların kayma hareketi ile sağlandığı için metastabil denge koşullarında oluşan martenzit fazı çubukta çarpımalara ve iç gerilmelere neden olmaktadır. Çubuğun gevrekliğini azaltıp tokluğunu arttırmak ve oluşan iç gerilemeleri gidermek için 250 °C' de 1 saat gerilim giderme işlemi görmektedir. Ardından denge çubuğu kumlama prosesine girer. Bu proste ısı işlem sırasında oluşmuş oksit tabaksından kurtulmak, çubuğun yüzeyini temizlemek ve yüzeyde basma gerilmeleri oluşturmak hedeflenmektedir. Kumlama prosesinden sonra çubuklar boyanır. Ve araca montajlanabilir hale gelmesi için aksesuarlar takılır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Üretilen 4 adet numune Mts yorma cihazında yorma testine sokulmuştur. Stroke değerleri ± 65 mm'dir. Görsel 5. Yorma test makinesi görülmektedir.



Görsel 5. Mts yorma cihazı.

Yorma testi yapılan denge çubukları kol bölgelerinde bulunan link montajı yapılması için açılan deliklerden Mts test cihazına bağlanmıştır. Test cihazının kolları çubuğun kollarını düşey ekseninde zıt yönlerde hareket ettirerek çevrimli yüklere maruz bırakmaktadır. Mts test cihazının kolları hidrolik sistemle çalıştığı için uygulanan kuvvetler ölçülebilir. Ölçülen kuvvet 0' a yaklaştığında test cihazı kolları durdur. Buda çubuğun kırıldığı ana denk gelir. 4 adet numune bu şekilde yorma testine sokulmuştur.

Sonuçlar şöyledir;

21847 çevrim, 33970 çevrim, 62402 çevrim ve 70254 çevrimdir. Görsel 6. Denge çubuklarının çevrim sayıları gösterilmektedir.



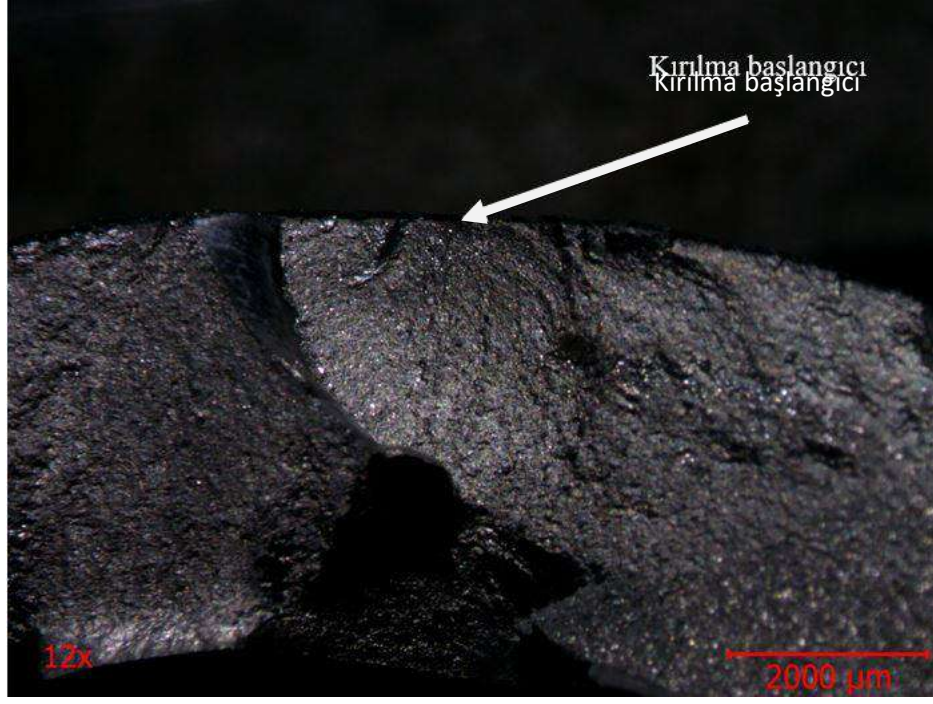
Görsel 6. Test sonrası çevrim sayıları.

Kırılma bölgeleri incelendiğinde yapılan analiz ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bütün çubuklar stresin maksimum olduğu yer olan omuz bölgesinden kırılmıştır. Görsel 7. Yorma testinde kırılan çubuk gösterilmektedir



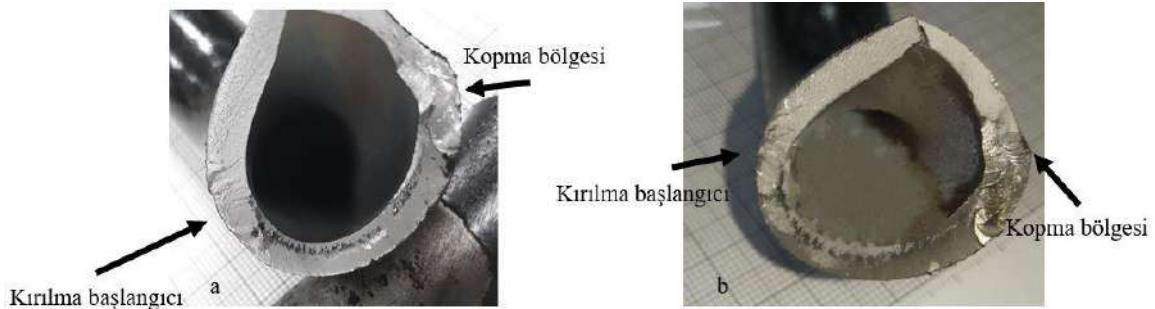
Görsel 7. Yorma testinde kırılan çubuk.

Yorma testi sonra sonrasında kırılan çubukların makro analizleri yapıp çubukların kırılma bölgeleri tespit edilmiştir. Makro analiz yapılırken yorma izleri takip edilerek kırılma başlangıcı bulunmuştur. Görsel 8. Kırılma bölgesi görülmektedir.



Görsel 8. Kırılma bölgesi.

En erken kırılan çubuk 21847 çevrimde kırılmıştır. Kırılma bölgesi incelendiğinde çubuğun dış yüzeyden kırıldığı tespit edilmiştir. Kırılmanın başlangıç noktasındaki izler çubuğun sünek kırıldığını devamında ise sünek kırılma izlerinin kaybolduğu izlerin daha pürüzsüz devam etmesinden ise gevrek kırıldığını göstermektedir. 33970 çevrimde kırılan çubukta 21847 çevrimde kırılan çubukla benzer şekilde kırılmıştır. Çubuk sünek kırılmaya başlayıp gevrek kırılarak devam etmiştir. Görsel 9. Kırılan çubukların kırık bölgelerinin fotoğrafları.



Görsel 9. a) 21847 çevrimde kırılan çubuk, b) 33970 çevrimde kırılan çubuk.

62402 çevrimde kırılan ve 70254 çevrimde kırılan çubukların makro analizleri yapıldığında benzer şekilde kırıldıkları görülmüştür. Görsel 10. 62402 ve 70254 çevrimde kırılan çubukların görüntüleri. Kırılma dış yüzeyden başlamıştır. Kırılma başlangıcını bakıldığında parlak olarak görülmektedir. 21847 ve 33970 çevrimde kırılan çubuklara kıyasla kırılma bölgeleri daha sert görünmektedir. Kırılma bölgesindeki yorulma izleri daha homojen görülmektedir. Bu sebeple çubuğun yüzey ve merkez arasındaki sertlik değerleri birbirine daha yakındır.

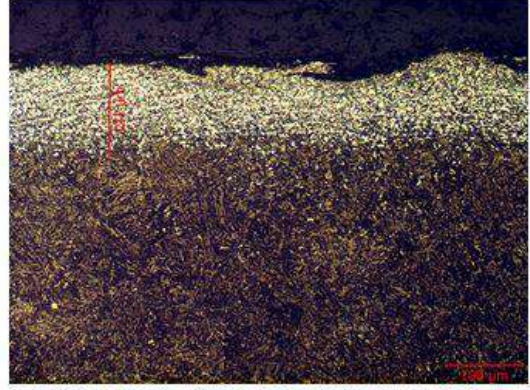


Görsel 10. a) 62402 çevrimde kırılan çubuk, b) 70254 çevrimde kırılan çubuk.

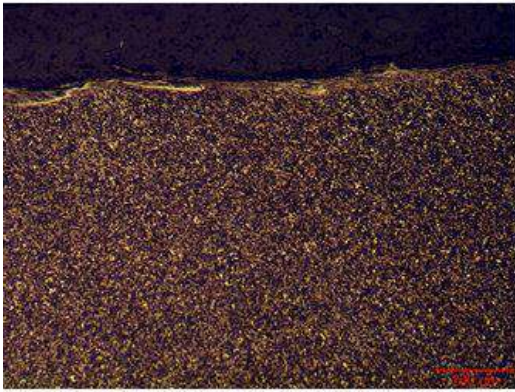
Makro analizlerden sonra mikro analizlere geçilmiştir. Denge çubuklarının kırılma bölgelerinin hemen arkasından numune alınmıştır. Görsel 11. Kırılan çubukların mikro yapı görselleri. 21847 çevrimde, 33970 çevrimde ve 62402 çevrimde kırılan çubuklarda dekarbürizasyon görülmüştür. 21847 çevrimde kırılan çubukta 180 μm , 33970 çevrimde kırılan çubukta 121 μm ve 62402 çevrimde kırılan çubukta ise 22 μm uzunluğunda dekarbürizasyon vardır. A ve b mikroyapı görüntüsünde yüzeyde kayma bantları bariz şekilde görülmektedir. Görsel 12. Oluşan kayma bantları. 62402 çevrimde kırılan çubuğun yüzeyinde oluşan kayma bandı ölçüldüğünde uzunluğu 47 μm gelirken, 33970 çevrimde kırılan çubuğun yüzeyinde oluşan kayma bandı 70 μm uzunluğunda ölçülmüştür.



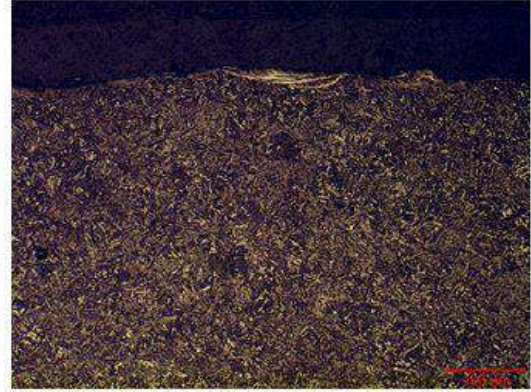
a



b

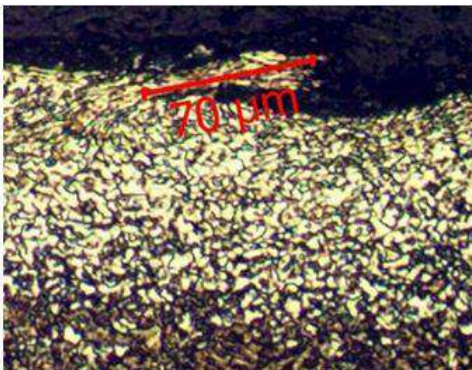


c

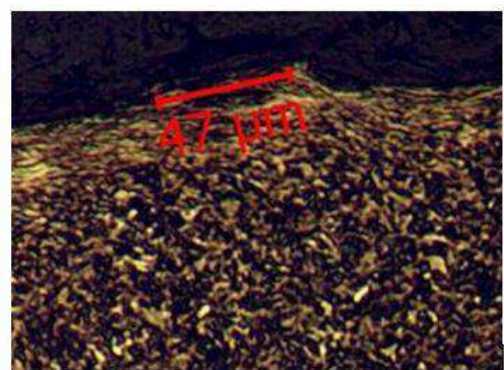


d

Görsel 11. Kırılma bölgesi mikroyapı görselleri. a) 21847 kırılan çubuk, b) 33970 çevrimde kırılan çubuk, c) 62402 çevrimde kırılan çubuk, c) 70254 çevrimde kırılan çubuk.



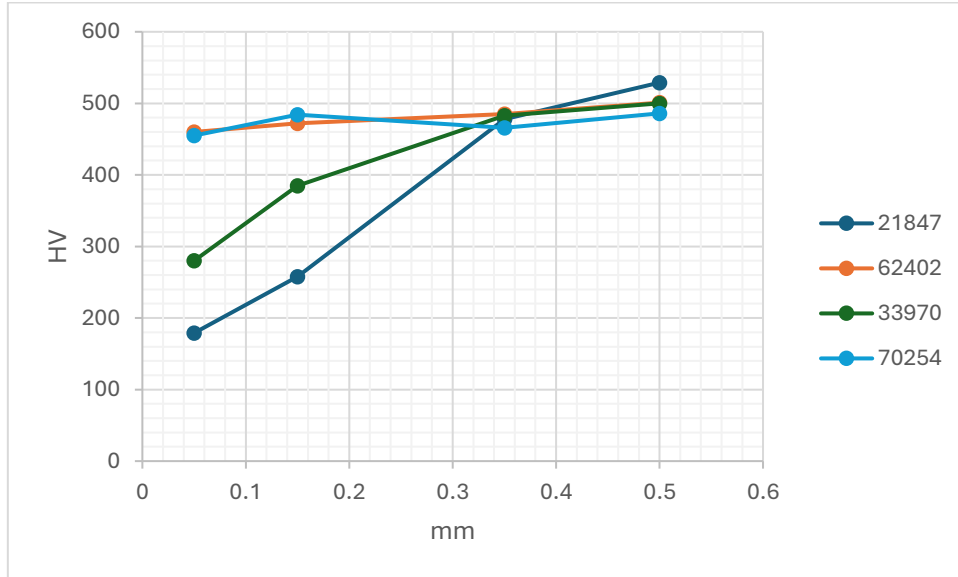
a



b

Görsel 12. a) 33970 çevrimde kırılan çubuğun yüzeyinde oluşan kayma bandı, b) 62402 çevrimde kırılan çubuğun yüzeyinde oluşan kayma bandı.

Çubukların yüzeyinden merkeze doğru sertlik taraması yapıldığında dekarbürizasyon olan bölgelerde sertlik değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Görsel 13. Ölçülen sertlik değerlerinin grafiği görülmektedir. Sertlik ölçümleri Metkon marka Mikrovickers sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm yöntemi olarak Hv1 kullanılmıştır. Yüzeyden başlanarak 0.05mm, 0.15mm, 0.35mm ve 0.5mm’ de olmak üzere 4 ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonucunda 21847 ve 33970 çevrimde kırılan çubuklarda 0.3mm kadar sertlikte düşüş gözlemlenmiştir. Sertlikteki bu düşüş dekarbürizasyon nedenlidir. Yüzeyden uzaklaşan karbon atomları kafes sisteminde bulunamayınca parçaya sertliğinin veren HMT yapı oluşamamıştır. Demir atomları arasına giren karbon atomları HMK kristal yapısını HMT kristal yapısına dönüştürür. Bu dönüşüm sonucunda kafes distorsiyona uğrar demir atomlarının kayması zorlaşır ve malzemenin sertliği artar. Karbon atomlarının bulunmaması bu dönüşümü engellediği için parçanın sertliği düşmüştür. Parçanın dış yüzey bölgesindeki bu sertlik düşüşü yorma gerilmelerine karşı gösterilen direnci düşürmektedir. Yüzeyde mikro plastik deformasyon oluşumu sırasında kaymalar daha kolay gerçekleşmekte ve çatlak çekirdeklenmesine yol açmaktadır. Bu sebeple çubukların yorulma ömürleri de daha düşük olmaktadır.



Görsel 13. Ölçülen sertlik değerlerinin grafiği.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada dekarbürizasyon miktarının yorulma ömrüne olan ilişkisi incelenmiştir. 4 adet dekarbürizasyon miktarı birbirinden farklı olan çubuk yorulma testine tabi tutulmuştur. Yorma testi sonucunda parçaların kırılma bölgelerinden numune alınarak mikro ve makro analizler yapılmıştır.

Sonuçlar şu şekildedir;

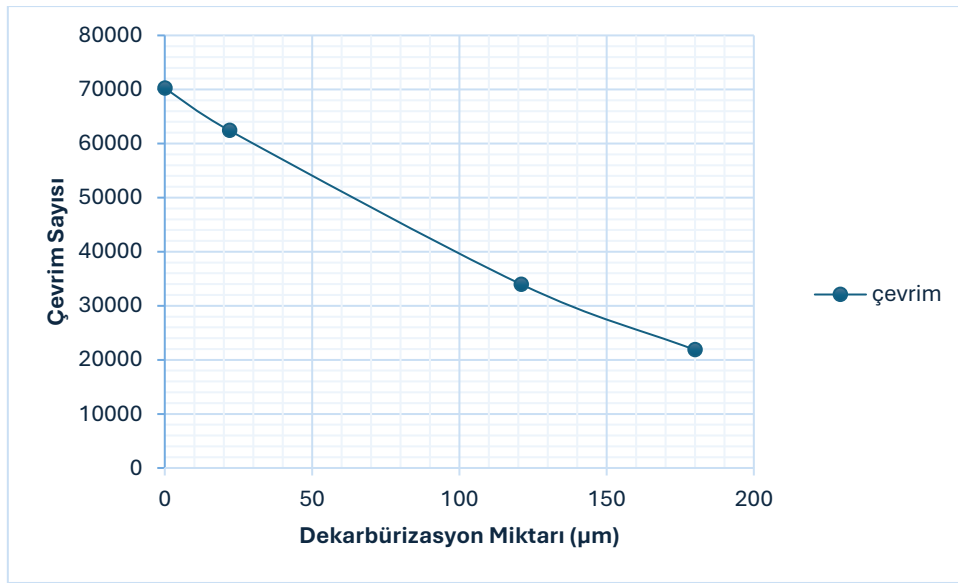
- Kırılma bölgesine yapılan makro analizlerde 21847 ve 33970 çevrimde kırılan çubuklarda kırılma başlangıcında sünek kırılma gözlemlenmiştir. Kırılmanın diğer aşamalarında gevrek kırılma gözlemlenmiştir. 62402 ve 70254 çevrimde kırılan çubuklarda ise kırılma gevrek başlayıp gevrek devam etmiştir.
- Ölçümlerin sonucunda dekarbürizasyon miktarına göre sertlikte düşüş gözlemlenmiştir. Dekarbürizasyon miktarı, sertlik ve yorulma ömrü ilişkisi Çizelge 2.'de görülmektedir.

Dekarbürizasyon Miktarı (μm)	Yüzey Sertliği (HV)	Yorulma Ömrü (Çevrim)
180	179	21847
121	280	33970
22	460	62402
0	455	70254

Çizelge 2. Dekarbürizasyon miktarı, sertlik ve yorulma ilişkisi.

- Yorulma testi sırasında yüzeyde kayma bantlarının olduğu gözlemlenmiştir. Ölçülen değerlerden dekarbürizasyon miktarı fazla olan parçalarda kayma bantlarının daha uzun olduğu ölçülmüştür.

- Dekarbürizasyon miktarının sertliğe olumsuz etki ettiği, sertlikte düşüşün ise yorulma ömrüne olumsuz yönde etki ettiği görülmüştür. Artan dekarbürizasyon miktarıyla sertlik düşmüş olup, düşen sertlik ise yorulma ömrünü azaltmıştır. Dekarbürizasyon miktarının yorulma ömrünü doğrudan etkilediği görülmüş olup dekarbürizasyon miktarı 100 μm geçince yorulma ömrü yarıya düşmüştür. Görsel 14. Dekarbürizasyon miktarının yorulma ömrüne etkisi görülmektedir.



Görsel 14. Dekarbürizasyon miktarının yorulma ömrüne etkisi.

KAYNAKÇA

[1] Uçakkuş, Ö.E., *Polimerli Su ve Yağ Sertleştirme Proseslerinde Meydana Gelen Çarpılmaların Boru Denge Çubuğu Yorulma Ömrüne Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2018.

[2] <https://web.itu.edu.tr/gulmezt/MekanikD/YORULMA-1.pdf>
(Erişim tarihi: 15.11.2024)

[3]
https://websitem.karatekin.edu.tr/user_files/huseyingokce/files/20231112_5b814a343f894bc88ac76914b6067b29.pdf
(Erişim tarihi: 15.11.2024)

DÖNEL ÇOKLU BORULU SİSTEMLERDE FAZ DEĞİŞİM MALZEMESİYLE ENERJİ DEPOLAMA PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI: SAYISAL BİR ARAŞTIRMA

Doç. Dr. Burak KURŞUN

Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

burak.kursun@amasya.edu.tr - 0000-0001-5878-3894

Öğr. Gör. Mehmet BALTA

Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine Programı

mehmet.balta@amasya.edu.tr - 0000-0002-7074-9258

ÖZET

Bu çalışmada, dışta dairesel boru ve içte dört adet dairesel borudan oluşan bir sistemde faz değişim malzemesi (FDM) eritilerek enerji depolama süreci incelenmiştir. Sistem, farklı dönme hızlarında Durgun durum 0 rpm; dönel durumlar olan 0.5 rpm, 1 rpm ve 2 rpm’de döndürülerek FDM'nin erime davranışları ve enerji depolama performansı üzerine etkileri araştırılmıştır. Dönme hızının, ısı enerji depolama kapasitesini artırmak ve erime sürecini hızlandırmak için önemli bir parametre olduğu belirlenmiştir. Sabit (0 rpm) ve dönen (0.5–2 rpm) sistemler karşılaştırılarak, dönme hızının artırılmasıyla birlikte ısı transferinde iyileşmeler olduğu ve FDM erime süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Özellikle, 2 rpm hızında en düşük erime süresi olduğu görülmüştür. Elde edilen bulgular, dönel sistemlerin FDM tabanlı enerji depolama sistemlerinin performansını optimize etmek için etkili bir yöntem sunduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji uygulamalarında daha verimli ısı enerji depolama sistemleri geliştirilmesi açısından önemli bir katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Faz değişim malzemesi, Çok tüplü gizli ısı enerjisi depolama sistemi, Aktif ısı transferi iyileştirmesi.

1. GİRİŞ

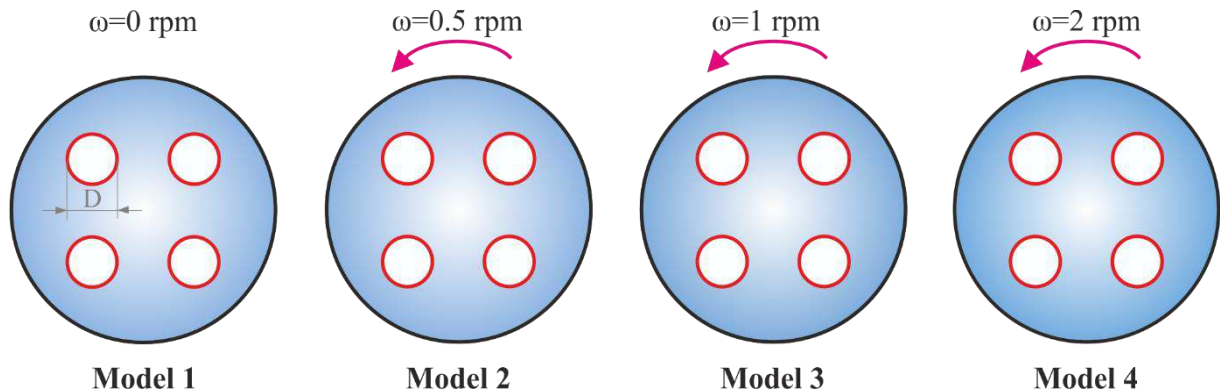
Faz değiştiren malzemeler (FDM), enerjiyi verimli bir şekilde depolamak ve serbest bırakmak için faz değişim süreçlerini kullanan yenilikçi malzemelerdir. Bu malzemeler, katı, sıvı veya gaz gibi farklı fiziksel fazlar arasında geçiş yaparken büyük miktarda gizli ısıyı depolayabilir veya açığa çıkarabilir. FDM'ler, faz değişimi sırasında sıcaklıklarını sabit tutarak termal enerji depolama sistemlerinde yüksek verimlilik sağlar. Örneğin, bir FDM malzeme erime sıcaklığına ulaştığında, faz değişimi gerçekleşirken enerji emer (ısı depolama), donma sırasında ise bu enerjiyi serbest bırakır. Faz değişim malzemelerinin bu özelliklerin yanı sıra düşük iletkenliğe

sahip olmaları gibi bir dezavantajı da vardır. İletim ısı transferini iyileştirmek için aktif veya pasif teknikler üzerine birçok çalışma yürütülmüştür. Ali ve arkadaşları (2018), dönme ve eksantrikliğın ısı transfer oranı üzerindeki etkisinin araştırılması için üç boyutlu sayısal simülasyon yapmıştır. Eksantriklik değişimi ve boru dönüşünün ısı transfer oranında önemli bir artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Huang vd. (2024), yaptıkları çalışmada dönme mekanizması ile nanopartikül ilavesinin etkisini kıyaslamayı amaçlamışlardır. Dönme hızının nanopartikül konsantrasyonuna kıyasla erime süresi ve ısı emilim oranı üzerinde daha çok etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Khosroshahi ve Hossainpour (2021), sabit hız ve adım adım dönmenin şarj süresi üzerindeki etkisi incelemiştir. Tam eritme süresi depolama ünitesinin sabit dönme hızıyla döndürülmesinin %3,45 azalma olduğunu ve iki zıt yönde dönme ve durdurma adımları arasında 180 derecelik açı farkı olan durumda adım adım dönme uygulayarak sabit duruma göre şarj süresinde %15,5 oranında azalma sağlanabileceğini göstermektedir. Fathi ve Mussa (2023), sabit (0 rpm) durum ile 3, 6 ve 9 rpm üç dönüş hızı kullanılarak yapılan deneyler yapmıştır. Deney sonuçları dönme etkisiyle erime süresinin yaklaşık yarıya indirdiğini göstermiştir. Qu ve arkadaşları (2024), farklı ısı transfer yüzeylerine ve katılma veya erimenin meydana gelmesine göre, dört düzenleme oluşmuştur. Termal enerji depolama sisteminin dönüşünün, katılma süresini durağan modele kıyasla %46'ya kadar azaltabildiği, ancak dönme hızının değişmesinin küçük bir etkide bulunduğunu ortaya koymuştur. Yadav ve Samir, (2022) birden fazla tüpe bölünmenin ve kanatçıkların kullanılmasının erime performansını artırdığı göstermiştir. En düşük erime süresi, dört basamaklı boruya, 30 mm eksantrikliğe ve (+ tipi) kanatlı modelde olduğunu ortaya koymuştur. Ajarostaghi vd. (2023), boru ve kanat sayısı etkilerini, yerleşim düzeni etkileri ile kanatlı dış borular üzerinde çalışma yapmıştır. Dikey çift dizilimi ve kanatların çift dikey düzenine sahip modelde tam erime süresinin %69,14 oranında azaldığını göstermişlerdir. Bu çalışmada ise çoklu borulu enerji depolama sistemlerinde dönme etkisini araştırma hedeflenmiştir.

2. SAYISAL ÇALIŞMA

2.1. Modeller

Sayısal analizlerde kullanılmış olan model ve durumlar Görsel 1'de verilmiştir. Durgun durum Model 1, 0.5 rpm, 1 rpm ve 2 rpm hızlarda dönen modeller sırasıyla Model 2, Model 3 ve Model 4 olarak adlandırılmıştır. Modeller $D=6,9354$ mm ölçüsüne sahip dört küçük daire ile dış çapı 36mm olan büyük daireden oluşmaktadır.



Görsel 1. Sayısal analizlerde kullanılan modeller

2.2. Matematiksel Model

Sayısal analizlerde entalpi-gözeneklilik yöntemi kullanılmıştır. Sayısal çözümleme aşağıdaki varsayımlar kabul edilerek gerçekleştirilmiştir (Mahdi ve ark., 2020; Alnakeeb ve ark., 2021).

- Hesaplama alanının iki boyutlu olduğu, akışın zamana bağlı olduğu ve akışkanın sıkıştırılmaz ve Newton tipi olduğu kabul edilmiştir.
- Doğal konveksiyon akışı için Boussinesq yaklaşımı kullanılmıştır.
- Viskoz dağılım ihmal edilmiştir.
- Borunun dış yüzeyinin adyabatik olduğu kabul edilmiştir.

Denklem 1 kütle korunumu ve x ve y eksenleri yönündeki momentumun denklemleri denklem 2 ve denklem 3 aşağıda verilmiştir. Denklemler sırasıyla:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uu)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vu)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) + uA \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vv)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) + vA + \rho g \beta (T - T_m) \quad (3)$$

Denklemlerde g ifadesi yer çekimi ivmesi (9,81 m/s²), μ dinamik viskozite, β termal genişleme katsayısı, T sıcaklık, β termal genişleme katsayısıdır. u ve v ise sırasıyla x ve y yönleri için akışkan hızlarıdır. Denklem 3'ün sağ taraftaki son ifade Boussinesq yaklaşımındaki kaldırma kuvveti etkisini ifade etmektedir. A değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir. (Kadivar ve ark., 2019):

$$A = -A_{mush} \frac{(1-\lambda)^2}{\lambda^3 + \varepsilon} \quad (4)$$

Denklemde λ sıvı oranını temsil etmektedir (Yan vd., 2022).

$$\lambda = \begin{cases} 0 & ; T < T_s \\ (T - T_s) / (T_l - T_s) & ; T_s < T < T_l \\ 1 & ; T > T_l \end{cases} \quad (5)$$

Denklemdeki l alt simgesi sıvı durumu ve s alt simgesi katı durumu ifade etmektedir. A_{mush} , katılaşma sırasında akışkan hızının azaltılmasına ilişkin peltensi bölge için kullanılan katsayıdır ve bu çalışmada $A_{mush} = 10^5$ olarak alınmıştır. ε sıfıra bölünmeyi önleyecek küçük sayıdır ve $\varepsilon = 0,001$ olarak alınmıştır (Kadivar ve ark., 2019).

Enerji denklemi aşağıdaki denklem ile ifade edilmiştir,

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uh)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vh)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (6)$$

Denklemden k iletimle ısı transfer katsayısı ve h entalpiyi temsil etmektedir. Entalpi (h) aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır (Yan vd., 2022).

$$h = \begin{cases} \int_{T_{ref}}^T c_p dT & ; T < T_s \\ \int_{T_{ref}}^T c_p dT + \lambda H & ; T_s < T < T_l \\ \int_{T_{ref}}^{T_s} c_p dT + \int_{T_l}^T c_p dT & ; T > T_l \end{cases} \quad (7)$$

C_p özgül ısı kapasitesi, H gizli ısı ve T_{ref} referans sıcaklığıdır ($T_{ref} = 298,15$ K). Aşağıdaki denklem ile T hesaplanabilir (Yang vd., 2016).

$$T = \lambda(T_l - T_s) + T_s \quad (8)$$

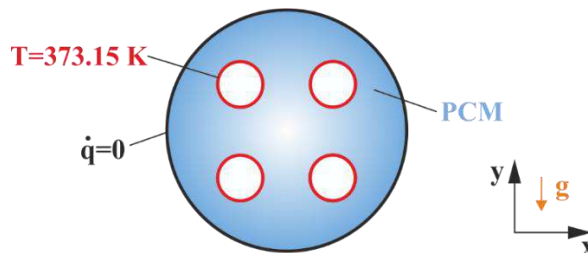
Faz değiştiren malzeme olarak N-eikosan, yüksek enerji depolama yoğunluğuna sahip olması ve sebebiyle tercih edilmiştir. N-eikosan FDM'nin termofiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. N-eikosan FDM'nin Termofiziksel Özellikleri (Seddegh & Henderson, 2015)

Termofiziksel özellikler	Değer
Katılma Sıcaklığı (K)	308.15
Sıvılaşma Sıcaklığı (K)	310.15
Sıvı Yoğunluğu (kg/m ³)	770
Özgül Isı Kapasitesi (J/kgK)	2460
Gizli Füzyon Isısı (J/kg)	247.600
Isıl İletkenlik (W/mK)	0,1505
Termal Genleşme Katsayısı (1/K)	0,0009
Dinamik Viskozite (kg/ms)	0,00385

2.3. Sınır Koşulları

Denklemlerinin çözümlenmesinde FDM'nin ortalama erime sıcaklığı 309.15 K olarak alınmıştır. Ayrıca, başlangıç sınır koşulu olarak, FDM sıcaklığının, erime sıcaklığının 1°C altında varsayılmıştır. Enerji depolama sisteminin dış yüzeyi adyabatik kabul edilmiştir. Boru iç yüzeyine ise sabit yüzey sıcaklığı ısı transferi sınır koşulu $T=373.15$ K verilmiştir.



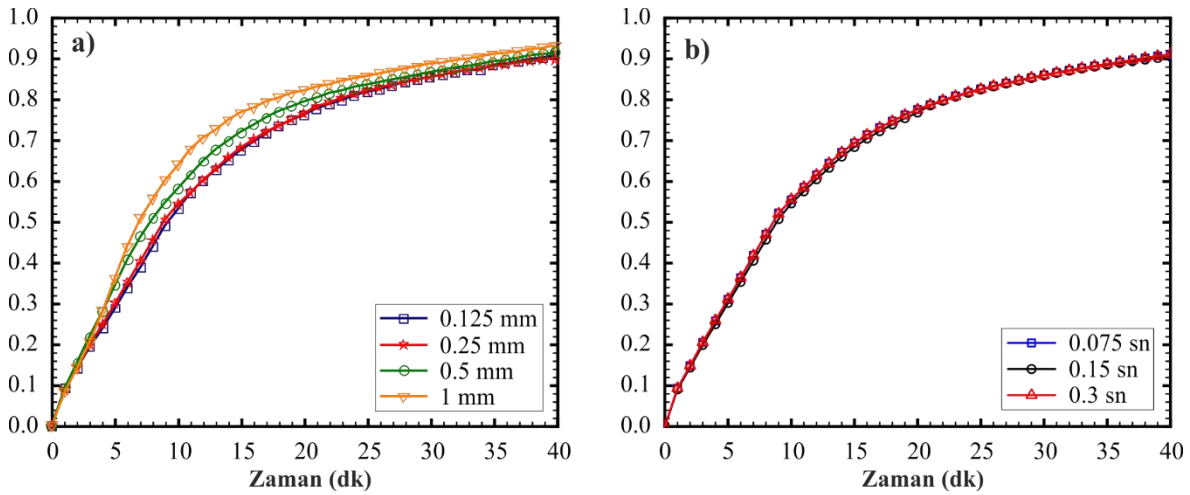
Görsel 2. Sınır koşulları

2.4. Sayısal Yöntem

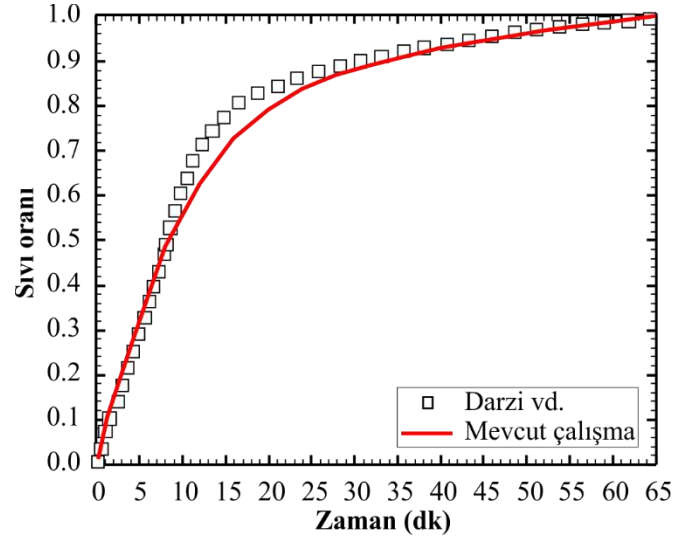
Yukarıda verilen denklemlerinin sayısal olarak çözümünde sonlu hacimler yöntemi kullanılmış ve sayısal çözümler ANSYS-Fluent 2022 R1 ticari yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Basınç ve hız için algoritma olarak PISO kullanılmış, basınç değerlerinin düzeltilmesinde PRESTO! tercih edilmiştir. Momentum ve enerji denklemlerinin ayrıklaştırılmasında QUICK şeması, denklemlerin zamana bağlı çözümü için ise birinci dereceden geçişli formül kullanılmıştır. Sayısal analizler kalıntı değerleri kütle ile momentumun korunumu için 10^{-6} 'nın, enerjinin korunumu için 10^{-8} olarak belirlemiştir. Düzgün dağılımlı tetrahedral mesh yapısı tercih edilmiştir.

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu bölümde modellerin FDM'nin erime performansı üzerindeki etkileri sıvı oranı ve FDM sıcaklığı açısından değerlendirilmiştir. Sayısal sonuçların doğruluğunu test etmek için doğrulama analizleri yapılmıştır. Doğrulama işlemleri için öncelikle mesh boyutu ve zaman adımından bağımsızlık testleri yapılmıştır.

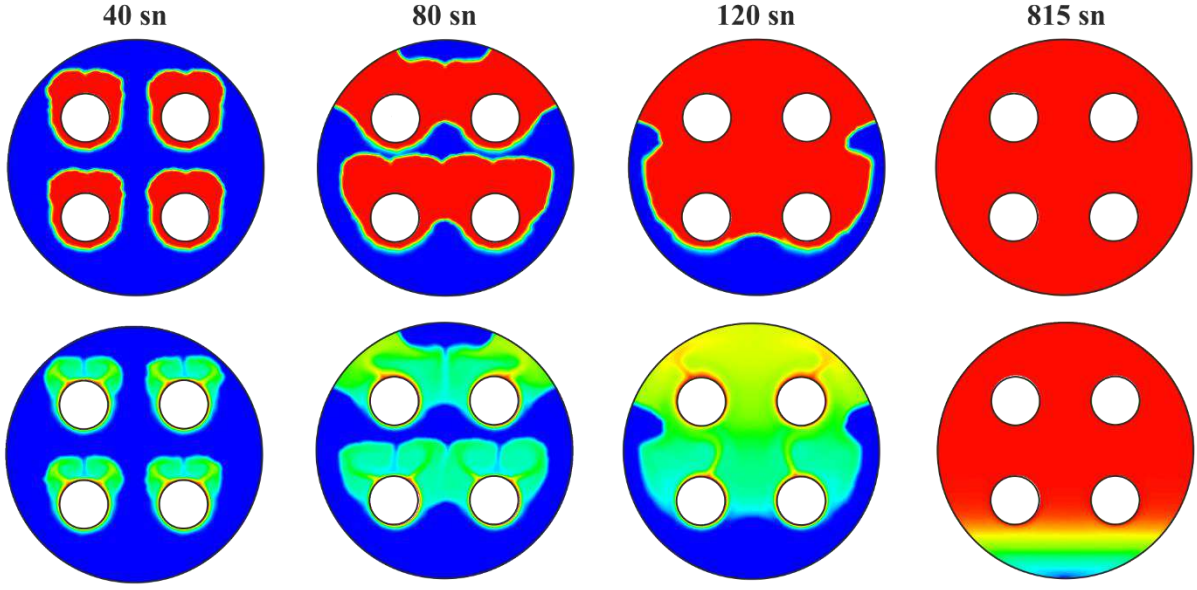


Görsel 3. a) Mesh boyutundan ve b) zaman adımından bağımsızlık testi sonuçları

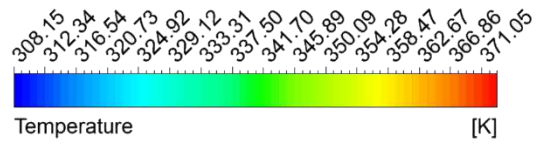
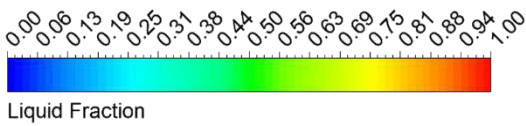
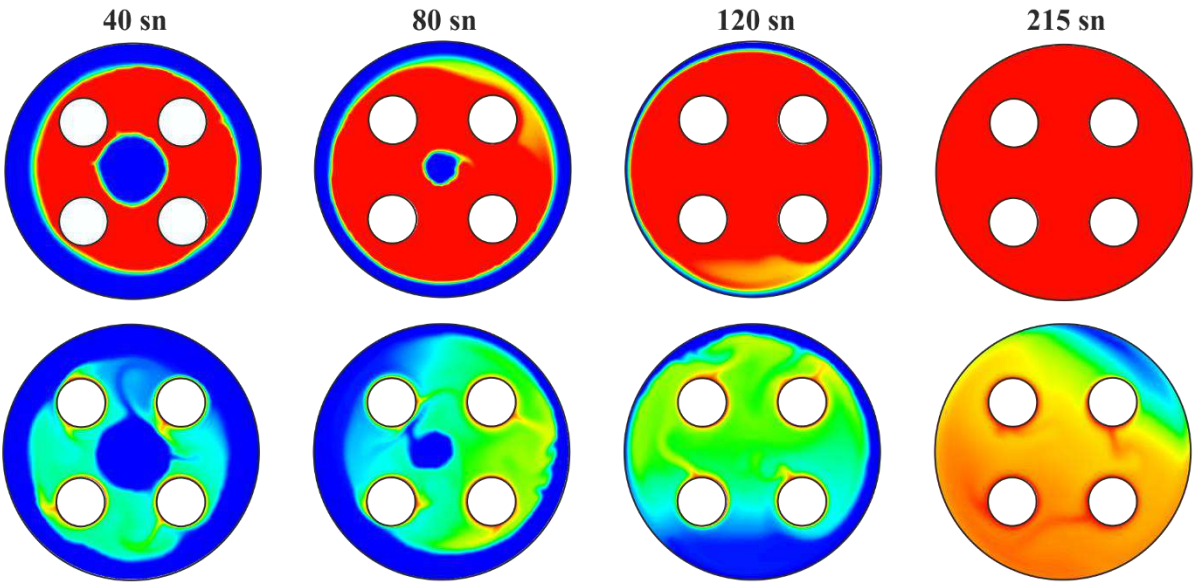


Görsel 4. Doğrulama çalışması ile mevcut çalışmanın erime oranları eğrilerinin karşılaştırılması
Görsel 3'te görüldüğü gibi, a) 0,25 mm'den küçük ızgara boyutu ve b) 0,15 saniyeden küçük zaman adımı için sıvı oranı değişikliği ihmal edilebilir düzeydedir. Analiz için 0,25 mm'lik bir mesh boyutu ve 0,15 saniyelik bir zaman adımı seçilmiştir. Görsel 4'te doğrulama ile yapılan analiz sonucu arasındaki en yüksek fark %6,5 olarak ölçülmüştür. Bu hata oranı, kullanılan sayısal modelin için uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Model 1
 $\omega=0$ rpm

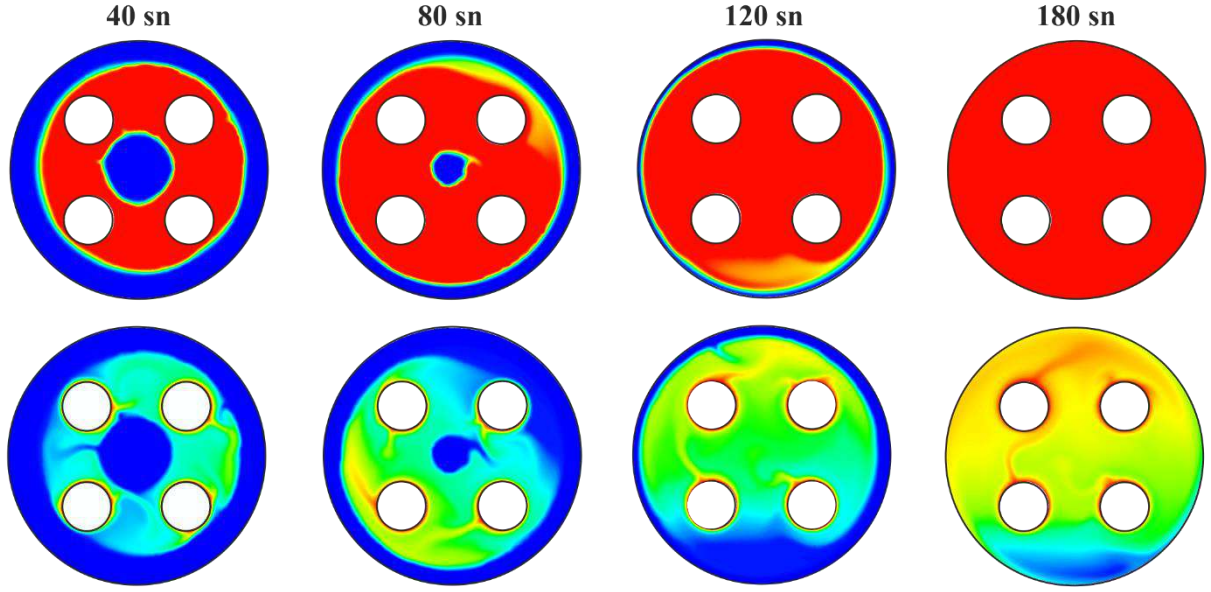


Model 2
 $\omega=0.5$ rpm

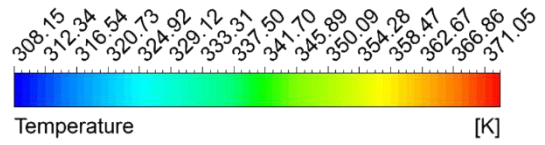
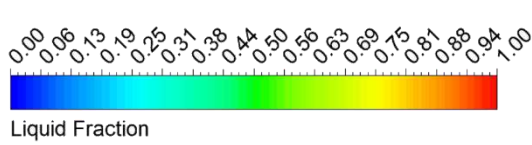
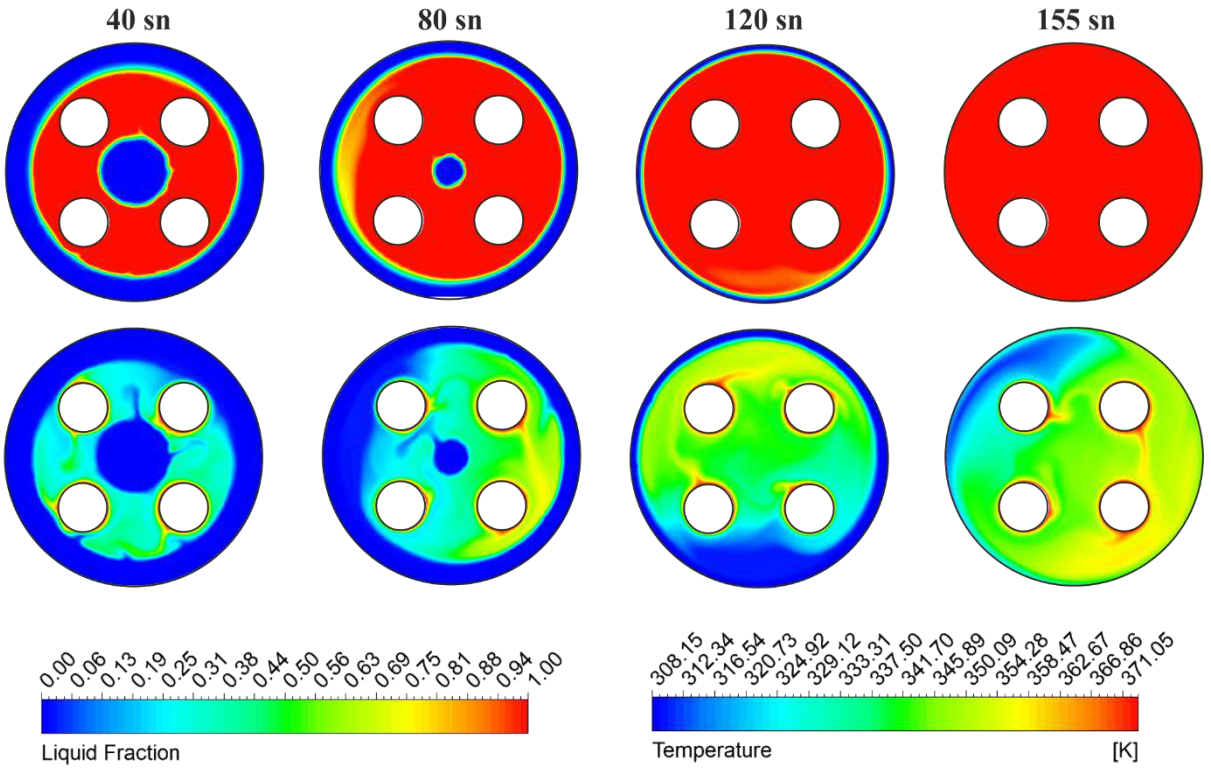


Görsel 5. Model 1 ve Model 2 için sıvı oranı ve sıcaklık konturları

Model 3
 $\omega=1$ rpm



Model 4
 $\omega=2$ rpm

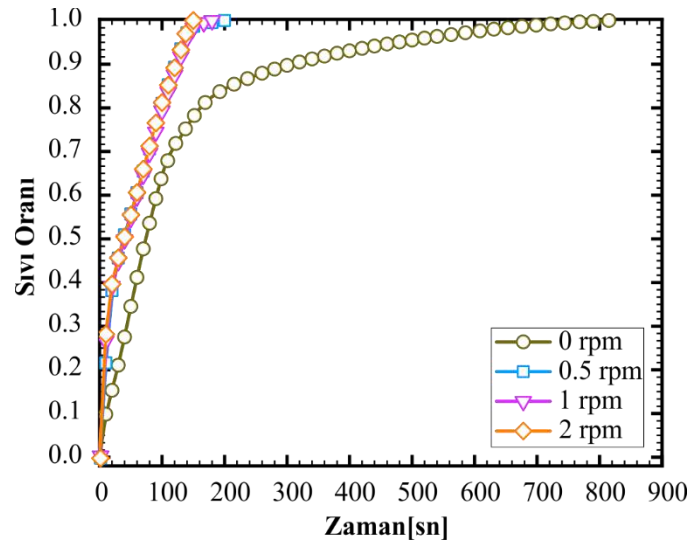


Görsel 6. Model 3 ve Model 4 için sıvı oranı ve sıcaklık konturları

Görsel 5 ve Görsel 6’da tüm modellerin analizinden elde edilen sıvı oranı ve sıcaklık konturları gösterilmiştir. Her bir modelin erime konturları yukarıda, sıcaklık konturları ise aşağıda görselleştirilmiştir. Konturlar 40 sn, 80 sn, 120 sn ve her birinin bitiş sürelerinde verilmiştir. Model 1’de ısı transferinin yalnızca doğal konveksiyon ile olması sebebiyle erimenin en geç tamamlandığını görmekteyiz. FDM’lerin ısı iletkenliklerinin düşük olması dezavantajının

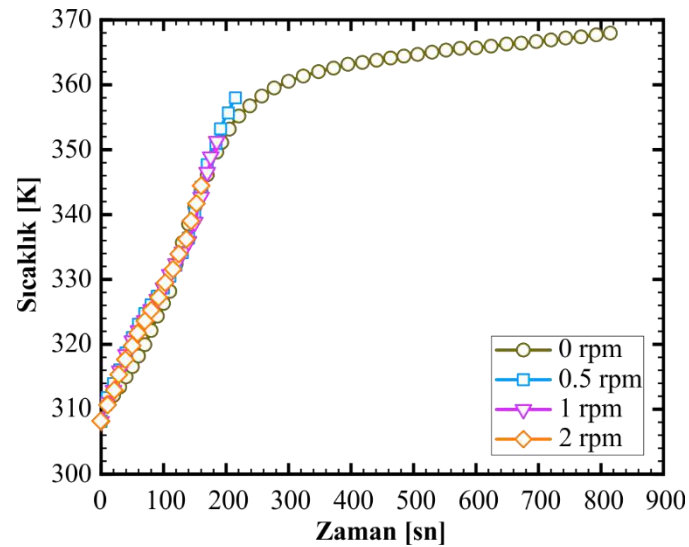
etkisinin azaltılması amacıyla dönme olan Model 2-3-4'e bakıldığında dönmenin etkisiyle erimenin hızlandığını görmekteyiz. 0.5 rpm dönme hareketi, sabit durum ile kıyaslandığında eriyen bölgenin çok daha fazla olduğunu fakat 1 rpm ve 2 rpm ile kıyaslandığında eriyen bölgenin çok değişmediği söylenebilir.

Sıcaklık konturları dönen modeller incelendiğinde 40 sn, 80 sn ve 120 sn için tüm modellerde ortalama sıcaklıkların benzer olduğu görülmüştür. Sabit modelde özellikle 40 sn için sıcaklık dağılımı ortalaması dönen modellere göre biraz daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü sabit modelde ısı transferi sadece doğal konveksiyon ile olmasıdır. Tamamen erime durumlarında ise en geç eriyen sabit olan Model 1'de ortalama en yüksek sıcaklık oluşmuştur.



Görsel 7. Tüm Modellerin sıvı oranı grafikleri

Görsel 7'de tüm modellerin zamana bağlı erime eğrileri verilmiştir. En hızlı erime 2 rpm hızla dönen Model 4'te, sonra 1 rpm hızla dönen Model 3'te, daha sonrasında ise 0.5 rpm hızla dönen Model 2'te ve en yavaş ise sabit durum için Model 1'de olduğu gözlemlenmiştir.



Görsel 8. Tüm Modellerin sıcaklık grafikleri

Görsel 8’de tüm modellerin zamana bağlı sıcaklık değerleri verilmiştir. En yüksek sıcaklık en son eriyen dönmeyen Model 1’de, diğer modellerde ise büyükten küçüğe sırasıyla Model 2, Model 3 ve Model 4 meydana gelmiştir. Bu sıcaklıkların sırasıyla 368 K, 359 K, 352 K ve 345 K olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, sabit ve dönel dört borulu enerji depolama sisteminde FDM'nin erime performansı incelenmiştir. Çalışma gizli ısı depolama sistemlerinde kullanılan FDM içerisindeki düşük termal iletkenlik dezavantajını azaltmayı amaçlamaktadır. Bunun için belirlenen modellerle farklı açışal hızlarda döndürülerek erime süreçleri incelenmiştir. Sayısal analizler Model 1 ile %100 erime 815 saniye sürerken, Model 2, Model 3 ve Model 4 ile sırası ile 215 saniye, 180 saniye ve 155 saniye şarj süreleri elde edilmiştir. Tamamen erime süresindeki en yüksek düşüş Model 4’te olup, Model 1’e göre yaklaşık 5,25 kat daha hızlı tamamlamıştır. Dönme hareketi tüm sistemlerde ısıl verimliliğin iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

1. Ali, M. A., El-Maghlany, W. M., Eldrainy, Y. A., & Attia, A. (2018). Heat transfer enhancement of double pipe heat exchanger using rotating of variable eccentricity inner pipe. *Alexandria engineering journal*, 57(4), 3709-3725.
2. Yadav, A., & Samir, S. (2022). Melting dynamics analysis of a multi-tube latent heat thermal energy storage system: Numerical study. *Applied Thermal Engineering*, 214, 118803.
3. Ajarostaghi, S. S. M., Amirsoleymani, A., Arıç, M., Dolati, A., & Amiri, L. (2023). Thermal energy storage with PCMs: A comprehensive study of horizontal shell and multi-tube systems with finned design. *Journal of Energy Storage*, 72, 108762.
4. Huang, X., Hu, R., Gao, X., Yang, X., & Li, M. J. (2024). Study on melting process of latent heat energy storage system by nano-enhanced phase change material under rotation condition. *Applied Thermal Engineering*, 247, 123040.
5. Khosroshahi, A. J., & Hossainpour, S. (2021). Investigation of storage rotation effect on phase change material charging process in latent heat thermal energy storage system. *Journal of Energy Storage*, 36, 102442.
6. Fathi, M. I., & Mussa, M. A. (2023). The effect of whole system rotation on the thermal performance of a phase change energy storage. *Journal of Energy Storage*, 68, 107732.

7. Qu, X., Qi, X., Zhang, Y., & Zhou, D. (2024). Performance of a rotating latent heat thermal energy storage unit with heat transfer from different surfaces. *Applied Thermal Engineering*, 248, 123147.
8. Mahdi, M. S., Mahood, H. B., Mahdi, J. M., Khadom, A. A., & Campbell, A. N. (2020). Improved PCM melting in a thermal energy storage system of double-pipe helical-coil tube. *Energy Conversion and Management*, 203, 112238.
9. Alnakeeb, M. A., Salam, M. A. A., & Hassab, M. A. (2021). Eccentricity optimization of an inner flat-tube double-pipe latent-heat thermal energy storage unit. *Case Studies in Thermal Engineering*, 25, 100969.
10. Kadivar, M. R., Moghimi, M. A., Sapin, P., & Markides, C. N. (2019). Annulus eccentricity optimisation of a phase-change material (PCM) horizontal double-pipe thermal energy store. *Journal of Energy Storage*, 26, 101030.
11. Yan, P., Fan, W., Yang, Y., Ding, H., Arshad, A., & Wen, C. (2022). Performance enhancement of phase change materials in triplex-tube latent heat energy storage system using novel fin configurations. *Applied Energy*, 327, 120064.
12. Yang, X. H., Tan, S. C., & Liu, J. (2016). Numerical investigation of the phase change process of low melting point metal. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 100, 899-907.
13. Seddegh, S., Wang, X., & Henderson, A. D. (2015). Numerical investigation of heat transfer mechanism in a vertical shell and tube latent heat energy storage system. *Applied thermal engineering*, 87, 698-706.

DAİRESEL VE ELİPS BORULU ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN ISI DEPOLAMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Doç. Dr. Burak KURŞUN

Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
burak.kursun@amasya.edu.tr - 0000-0001-5878-3894

Öğr. Gör. Mehmet BALTA

Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine Programı
mehmet.balta@amasya.edu.tr - 0000-0002-7074-9258

ÖZET

Bu çalışmada, dışta dairesel bir boru ve içinde farklı geometrilere sahip çoklu iç borular içeren sistemlerde faz değişim malzemesi (FDM) ile enerji depolama performansı incelenmiştir. Farklı iç boru geometrileri, FDM'nin erime davranışını, ısı transfer performansını ve enerji depolama verimliliğini değerlendirmek amacıyla tasarlanmıştır. Modellerde, dışta bir dairesel boru içerisinde sırasıyla dört adet dairesel boru, dört adet elips boru, 30 derece eğimli dört elips boru ve 60 derece eğimli dört elips boru kullanılmıştır. Bu dört farklı geometri üzerinde, FDM'nin erime ve katılma süreçleri, enerji depolama ve boşaltma süreleri ile sistemin ısı performansı karşılaştırılmıştır. Dairesel boru düzeni, enerji depolama açısından daha düşük bir performans sergilemiştir. Çalışmada ayrıca, boru geometrilerinin ve eğim açılarının, FDM'nin üzerinde önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Boru geometrilerinin FDM tabanlı enerji depolama sistemlerinde kullanılabilirliğini değerlendirerek, enerji verimliliğini artırmaya yönelik optimize edilmiş tasarımların geliştirilmesine fikir oluşturmaktadır. Elde edilen bulgular, enerji depolama uygulamalarında iç boru geometrisinin önemli olduğunu ve elipsin daha verimli bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çok tüplü gizli ısı enerjisi depolama sistemi, İç boru geometrisi, Aktif ısı transferi iyileştirmesi, Faz değişim malzemesi.

1. GİRİŞ

Enerji depolama, modern dünyada enerji verimliliğini artırmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarını daha etkili kullanmak için büyük bir önem taşımaktadır. Bu alandaki yenilikçi çözümlerden biri de faz değiştiren malzemelerin (FDM) kullanımudur. FDM'ler, faz değişim süreçlerinde yüksek miktarda gizli ısı depolayarak enerji depolama sistemlerinin performansını önemli ölçüde artırır. Özellikle katıdan sıvıya veya sıvıdan katıya geçiş sırasında, çevreden enerji alabilir ya da bu enerjiyi geri serbest bırakabilirler.

Faz değiştiren malzemeler, dūřuk hacimde yūksək enerji depolama kapasiteleri ve sabit sıcaklıkta enerji alışverişi yapabilme ۆzellikleriyle ۆn plana çıkar. Yenilenebilir enerji sistemleri, binaların ısıtma-soğutma sistemleri ve termal yۆnetim uygulamaları gibi birçok alanda kullanılan bu malzemeler, enerji depolama sūrelerini daha verimli ve sūrdürülebilir hale getirir. FDM teknolojisi hem ekonomik hem de çevresel açıdan enerji sistemlerine değer katan bir ۆzۆm olarak dikkat çekmektedir. FDM ile gizli ısı enerjisi depolamasına yۆnelik çalışmalar gۆz ۆnüne alındığında, pratikte uygulanma potansiyeli yūksək ve enerji depolama maliyeti dūřuk yۆntemlerin boru geometrisi değişimi ve boru yerleşim dūzenlerinin değiştirilmesi (eksantrik) olduğu anlaşılmaktadır. Daha ۆnce yapılmış çalışmalardan bazıları şunlardır. Bazai ve arkadaşları (2020), çalışmalarında hem eritme hem de katılaşma sūreleri farklı elips en boy oranları ve i elipsin açısal konum etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar, en boy oranının $1/3H$ minimum erime sūresi için en iyi performansa sahip olduğunu; ancak en boy oranının katılaşma sūreci üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını gۆstermiřtir. Elips açısının incelenmesinde, aının erime sūresine etki ettiği fakat katılaşma sūresinde ise belirgin değişimin olmadığını ortaya koymuştur. Mahdi ve diğerleri (2021), ũ dairesel borunun farklı yerleşim dūzeninin için erime performansını incelemiştir. Araştırmalar boruları, dış borunun alt bۆlgesine yerleştirilmesinin erime sūresi bakımından en iyi sonuçları verdiğini belirmişlerdir. Hekmat vd. (2022), enerji depolama sisteminin dış kısmında daire, yatay elips, dikey elips, kare, ũgen ve aşağı ve yukarı doğru trapezleri geometrisinin erime ve katılaşma hızları üzerindeki etkilerini üzerine çalışma yapmıştır. Ayrıca çalışmasında nanopartiküllerin ve kanatçıkların etkilerini de incelemiştir. Kap geometrisi, nanopartiküller ve kanatçıkların kombinasyonu ile elde edilen en iyi iyileştirmeler ile erime ve katılaşma sūreleri için sırasıyla %80 ve %66 olduğunu ortaya koymuştur. Esapour vd. (2016), çalışmalarında hem geometrik hem de operasyonel parametrelerin varyasyonlarını incelenmiş çok borulu ısı değiştiriciler arasında sayısal bir araştırma ve karşılaştırma yapılmıştır. Boru sayısı arttıkça, erime sūresini azalttığını ifade etmiştir. Dhaidan vd. (2013), iki dairesel silindirden oluşan enerji depolama sisteminde farklı radyal ve açısal konumlardaki iç boru durumlarında faz değişim malzemelerinin eritilmesi deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. İ silindirik tũp sabit bir ısı akısı, dış silindirik tũp termal olarak yalıtılmıştır. Ayrıca nanopartikũl konsantrasyonunun ve uygulanan ısı akısı miktarının erime sūreci üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yaptıkları çalışmada, erime sūrelerinde iyileşme olduğunu gۆstermiřler. Bir diğer çalışmada, dış borunun yarım dairesel olduğu enerji depolama sisteminde ũ farklı iç boru pozisyon değerinde erime hızındaki artış incelendi Yarım dairesel dış borulu sistemin, dairesel dış borulu enerji depolama sistemine kıyasla; erime performansında artış gۆstermektedir (Kumar ve ark., 2022).

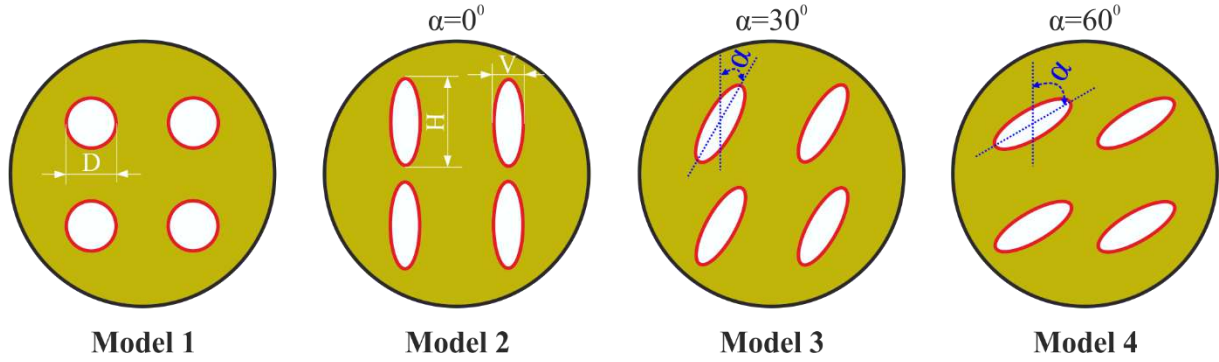
Bu alıřma ise çoklu borulu enerji depolama sistemlerinde hem geometrik modifikasyon ve yerleřim dūzeninde açısal konum etkisini incelemek amaçlanmıřtır.

2. SAYISAL ALIşMA

2.1. Modeller

Sayısal analizlerde kullanılmış olan model ve durumlar Gۆrsel 1’de verilmiştir. Model 1, $D=6,9354$ mm ۆlۆsüne sahip dۆrt kũuk daire ile dış çapı 36mm olan bũyũk daireden oluşmaktadır. Model 2, $V=4$ mm ve $H=12$ mm ۆlۆsüne sahip dۆrt kũuk elipsten oluşmuştur. Model 3; Model2’deki elipslerin 30^0 dۆnmesi ile Model 4 ise Model 2’deki elipslerin 60^0

döndürülmesi ile oluşturulmuştur. Her bir daire ile her bir elipsin alanları eşitlenmiştir, böylece aynı FDM alanları oluşturularak karşılaştırma yapılmıştır.



Görsel 1. Sayısal çalışmada kullanılan modeller

2.2. Matematiksel Model

Entalpi-gözeneklilik yöntemi, sayısal analizlerde temel alınmıştır. Sayısal çözümleme, aşağıdaki varsayımlar doğrultusunda gerçekleştirilmiştir (Mahdi ve ark., 2020; Alnaakeeb ve ark., 2021):

- Hesaplama alanının iki boyutlu olduğu, akışın zamana bağlı olduğu, akışkanın sıkıştırılmaz ve Newton tipi olduğu varsayılmıştır.
- Doğal konveksiyon akışı için Boussinesq yaklaşımı uygulanmıştır.
- Viskoz dağılımın etkileri ihmal edilmiştir.
- Borunun dış yüzeyinin adyabatik olduğu kabul edilmiştir.

Denklem 1, kütle korunumu, x ve y eksenlerindeki momentum denklemleri ise Denklem 2 ve Denklem 3 olarak aşağıda sunulmuştur. Bu denklemler sırasıyla ifade edilmektedir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v u)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) + uA \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u v)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v v)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) + vA + \rho g \beta (T - T_m) \quad (3)$$

Denklemlerde, g ifadesi yer çekimi ivmesi (9,81 m/s²), μ dinamik viskozite, β termal genişleme katsayısı, T sıcaklık, β termal genişleme katsayısıdır. u ve v ise sırasıyla x ve y yönleri için akışkan hızlarıdır. Denklem 3'ün sağ taraftaki son ifade Boussinesq yaklaşımındaki kaldırma kuvveti etkisini ifade etmektedir. A değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir. (Kadivar ve ark., 2019):

Denklem 3'te, sağ tarafta yer alan son terim, Boussinesq yaklaşımına göre kaldırma kuvveti etkisini temsil etmektedir. A değeri, aşağıdaki denklem aracılığıyla hesaplanabilir (Kadivar ve ark., 2019):

$$A = -A_{mush} \frac{(1-\lambda)^2}{\lambda^3 + \varepsilon} \quad (4)$$

Denklemden λ sıvı oranını temsil etmektedir (Yan vd., 2022).

$$\lambda = \begin{cases} 0 & ; T < T_s \\ (T - T_s) / (T_l - T_s) & ; T_s < T < T_l \\ 1 & ; T > T_l \end{cases} \quad (5)$$

Denklemden kullanılan alt simgeler, l sıvı durumunu, s ise katı durumunu temsil etmektedir. A_{mush} , katılma sırasında akışkan hızının azalmasını ifade eden peltemsi bölge katsayısıdır ve bu çalışmada $A_{mush} = 10^5$ olarak belirlenmiştir. ε sıfıra bölünmeyi engellemek için kullanılan küçük bir değeri temsil eder ve bu çalışmada $\varepsilon = 0,001$ olarak kabul edilmiştir (Kadivar ve ark., 2019).

Enerji denklemi aşağıdaki denklem ile ifade edilmiştir,

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u h)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v h)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (6)$$

Denklemden k, iletimle ısı transfer katsayısını, h ise entalpiyi ifade etmektedir. Entalpi (h), aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır (Yan ve ark., 2022):

$$h = \begin{cases} \int_{T_{ref}}^T c_p dT & ; T < T_s \\ \int_{T_{ref}}^T c_p dT + \lambda H & ; T_s < T < T_l \\ \int_{T_{ref}}^{T_s} c_p dT + \int_{T_l}^T c_p dT & ; T > T_l \end{cases} \quad (7)$$

C_p özgül ısı kapasitesini, H gizli ısıyı ve T_{ref} referans sıcaklığını temsil etmektedir ($T_{ref} = 298,15$ K). Aşağıda T'yi hesaplamak için denklem verilmiştir (Yang vd., 2016).

$$T = \lambda(T_l - T_s) + T_s \quad (8)$$

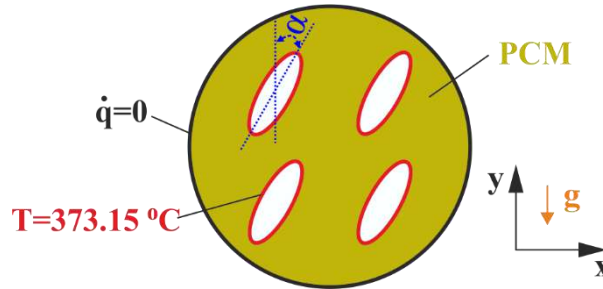
Faz değıştiren malzeme olarak N-eikosan tercih edilmiştir. Bunun nedeni, yüksek enerji depolama yoğunluğuna sahip olmasıdır. N-eikosan FDM'nin termofiziksel özellikleri Çizelge 1'de sunulmaktadır.

Çizelge 1. N-eikosan FDM'nin Termofiziksel Özellikleri (Seddegh & Henderson, 2015)

Termofiziksel özellikler	Değer
Katılma Sıcaklığı (K)	308.15
Sıvılaşma Sıcaklığı (K)	310.15
Sıvı Yoğunluğu (kg/m ³)	770
Özgül Isı Kapasitesi (J/kgK)	2460
Gizli Füzyon Isısı (J/kg)	247.600
Isıl İletkenlik (W/mK)	0,1505
Termal Genleşme Katsayısı (1/K)	0,0009
Dinamik Viskozite (kg/ms)	0,00385

2.3. Sınır Koşulları

Denklemlerin çözümlenmesinde, faz değiştiren malzemenin (FDM) ortalama erime sıcaklığı 309.15 K olarak alınmıştır. Başlangıç sınır koşulu olarak, FDM sıcaklığının erime sıcaklığının 1°C altında olduğu varsayılmıştır. Enerji depolama sisteminin dış yüzeyi adyabatik kabul edilmiştir. Boru iç yüzeyine ise sabit yüzey sınır koşulu uygulanmış olup, bu sıcaklık $T=373.15$ K olarak belirlenmiştir.



Görsel 2. Sınır koşulları

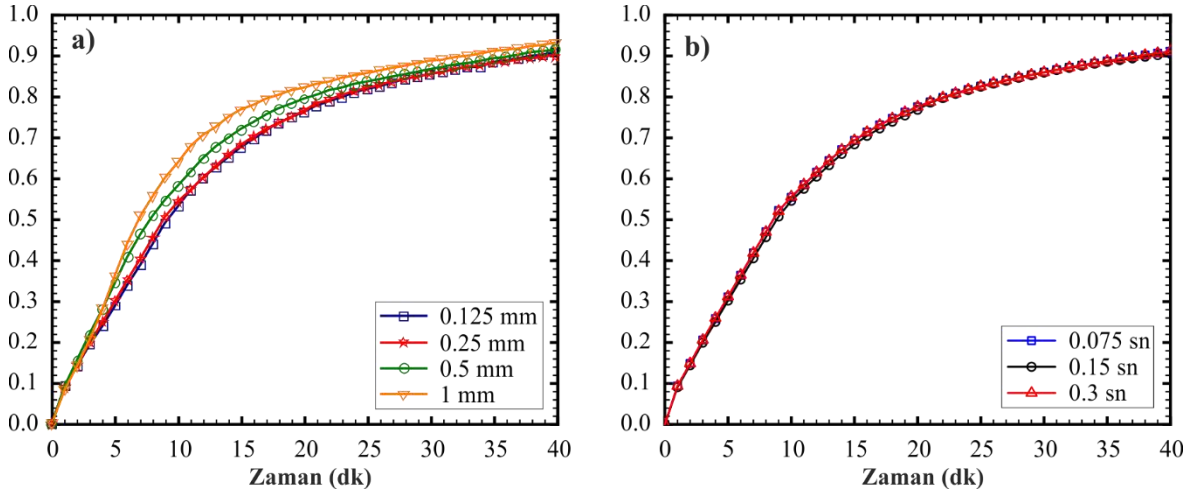
2.4. Sayısal Yöntem

Yukarıda verilen denklemlerin sayısal çözümünde sonlu hacimler yöntemi kullanılmış ve çözümler ANSYS-Fluent 2022 R1 ticari yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Basınç ve hız arasındaki bağı çözümü için PISO algoritması uygulanmış, basınç düzeltmeleri için ise PRESTO! yöntemi tercih edilmiştir. Momentum ve enerji denklemlerinin ayrıştırılmasında QUICK şeması kullanılmış, denklemlerin zamana bağlı çözümü için ise birinci dereceden geçişli formül uygulanmıştır. Sayısal analizlerde, kalıntı değerleri kütle ve momentumun korunumu için 10^{-6} 'nın enerjinin korunumu için ise 10^{-8} olarak belirlenmiştir. Ayrıca, düzgün dağılımlı tetrahedral mesh yapısı tercih edilmiştir.

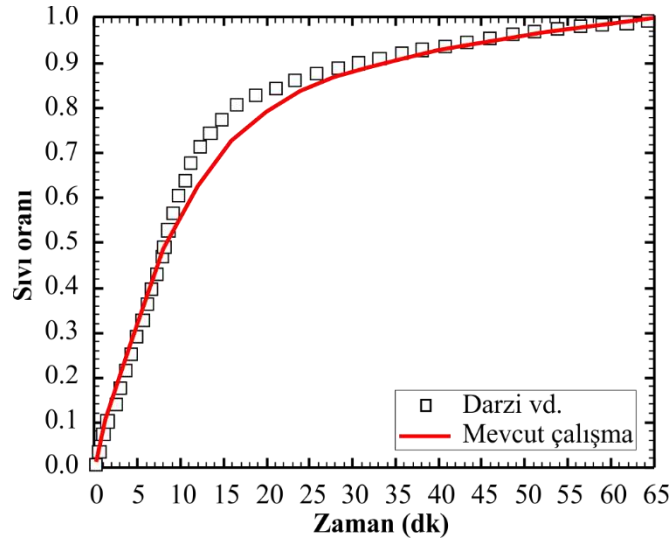
3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu bölümde, modellerin FDM'nin erime performansı üzerindeki etkileri, sıvı oranı ve FDM sıcaklığı temelinde incelenmiştir. Sayısal sonuçların doğruluğunu değerlendirmek amacıyla

doğrulama analizleri gerçekleştirilmiştir. Doğrulama sürecinde öncelikle mesh boyutu ve zaman adımına bağımlılık testleri yapılmıştır.



Görsel 3. a) Mesh boyutundan ve b) zaman adımından bağımsızlık testi sonuçları



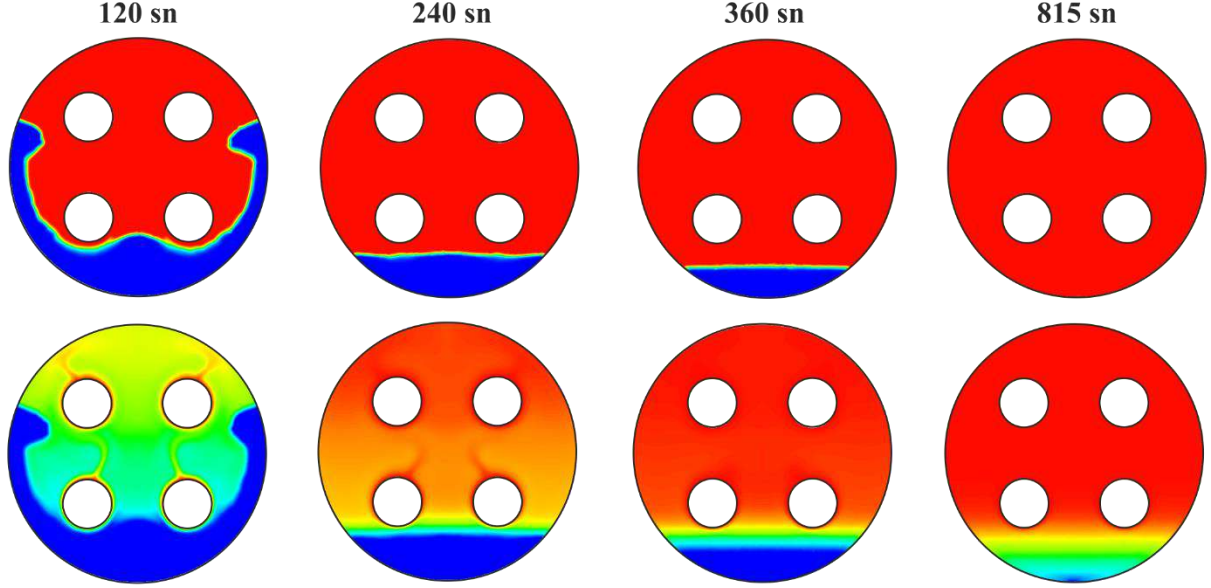
Görsel 4. Doğrulama çalışması ile mevcut çalışmanın erime oranları eğrilerinin karşılaştırılması

Görsel 3'te gösterildiği üzere, a) 0,25 mm'den daha mesh boyutu ve b) 0,15 saniyeden daha küçük zaman adımı için sıvı oranındaki değişiklik ihmal edilebilir düzeydedir. Bu nedenle, analizlerde 0,25 mm'lik bir mesh boyutu ve 0,15 saniyelik bir zaman adımı kullanılmıştır. Görsel 4'te, doğrulama ve yapılan analiz sonuçları arasındaki en yüksek fark %6,5 olarak belirlenmiştir. Bu hata oranı, kullanılan sayısal modelin uygulanabilirliğini doğrulamaktadır.

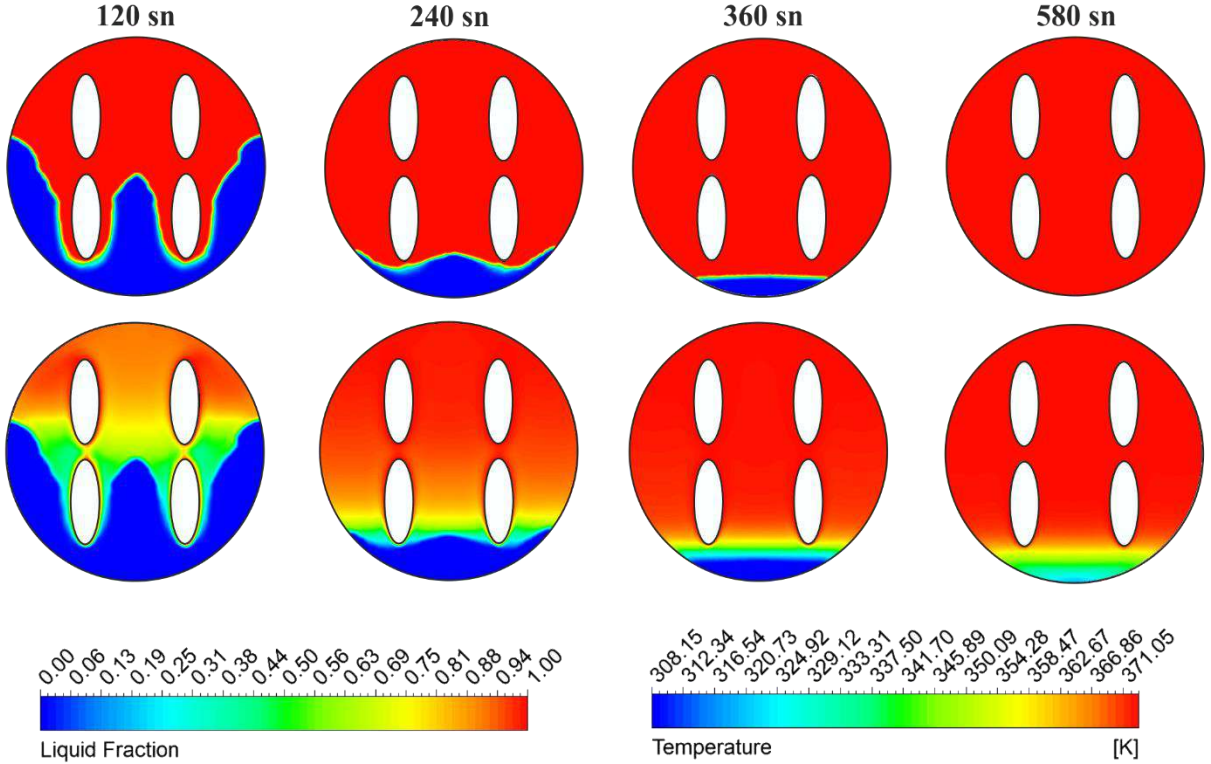
Görsel 5'te Model 1 ve Model 2'nin; Görsel 6'da Model 3 ve Model 4'ün sayısal analiz sonucu tüm modelleri sıvı oranı ve sıcaklık konturları gösterilmiştir. Her bir modele ait erime konturları yukarıda, sıcaklık konturları ise aşağıda görselleştirilmiştir. Konturlar 12sn, 240 sn, 360 sn ve bitiş sürelerinde verilmiştir. Model 1'de erimenin en geç tamamlandığını görmekteyiz. Bunun sebebini dairenin çevresinin (21,78 mm), elipsin çevresinden (26,73 mm) küçük olması şeklinde açıklanabilir. Model 2-3-4'e bakıldığında erimenin Model 1'e göre daha hızlı olduğu

görülmektedir. Bunun sebebi elipsin ısınan çevre uzunluğunun büyük olmasıdır. Elipsin açılma değeri arttıkça %100 erime süresinin arttığı gözlemlenmiştir.

Model 1



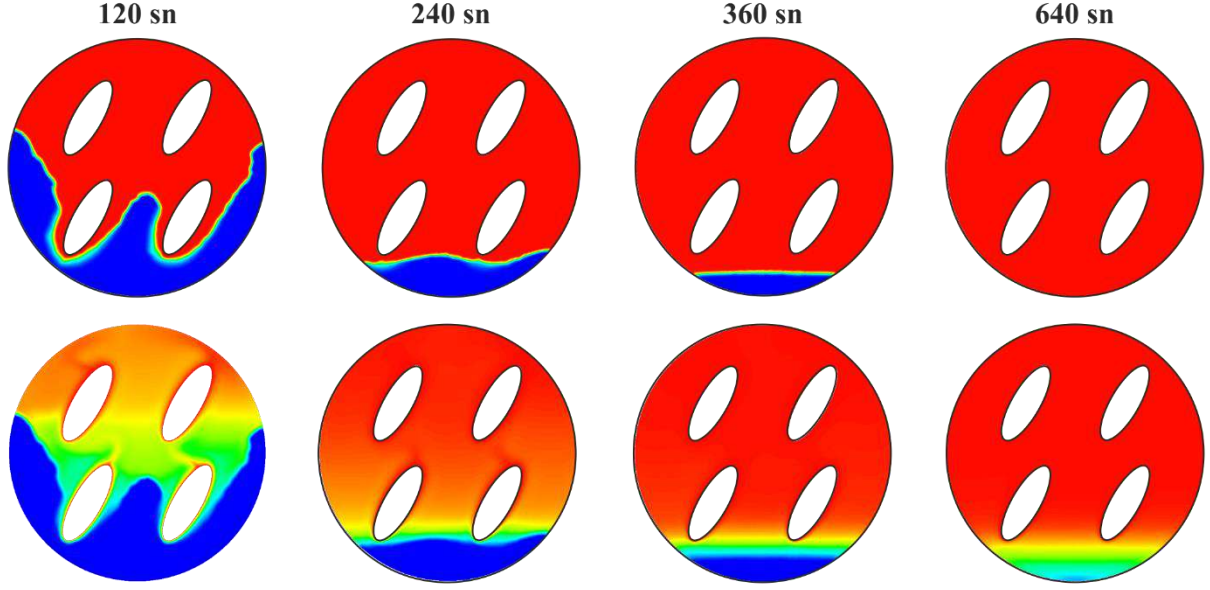
Model 2 $\alpha=0^\circ$



Görsel 5. Model 1 ve Model 2 için sıvı oranı ve sıcaklık konturları

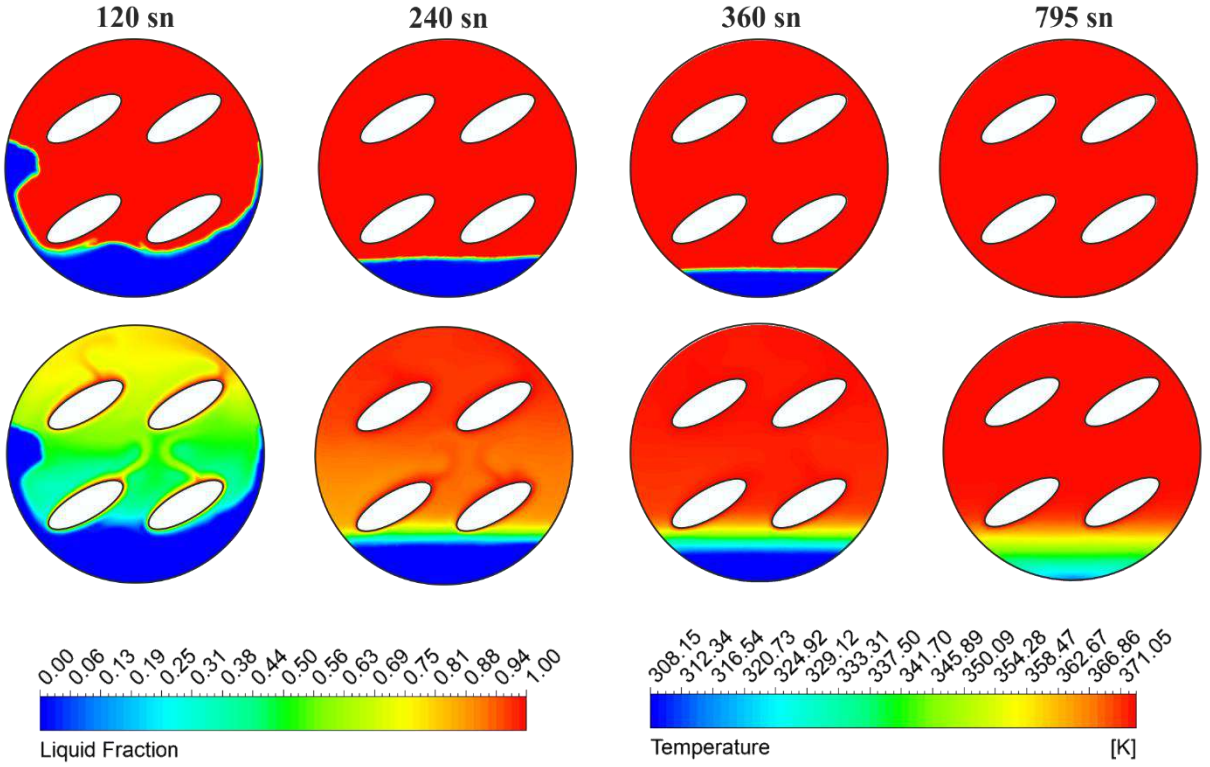
Model 3

$\alpha=30^\circ$



Model 4

$\alpha=60^\circ$

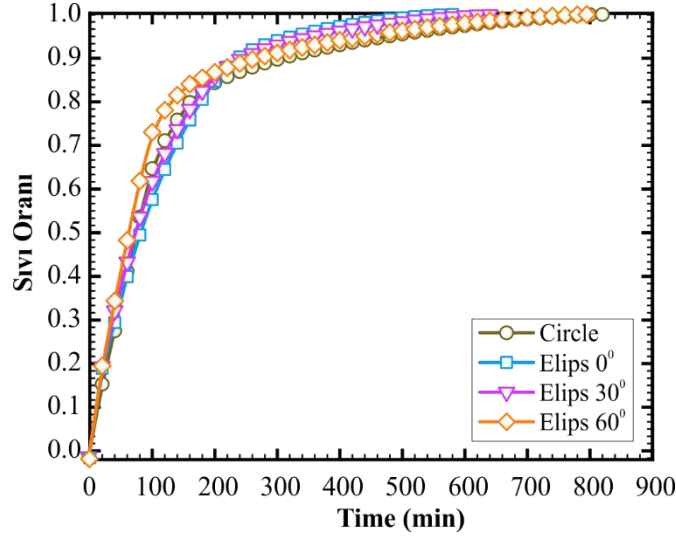


Görsel 6. Model 3 ve Model 4 için sıvı oranı ve sıcaklık konturları

Bunun sebebi elips açısı artmasıyla ısınan yüzeyler, dıştaki büyük dairenin alt kısımlarından uzaklaşmaktadır. Doğal konveksiyonun yukarı yönde olması ve FDM'nin ısı iletkenliğinin düşük olması aşağıda kalan bölgenin geç erimesine sebep olmaktadır.

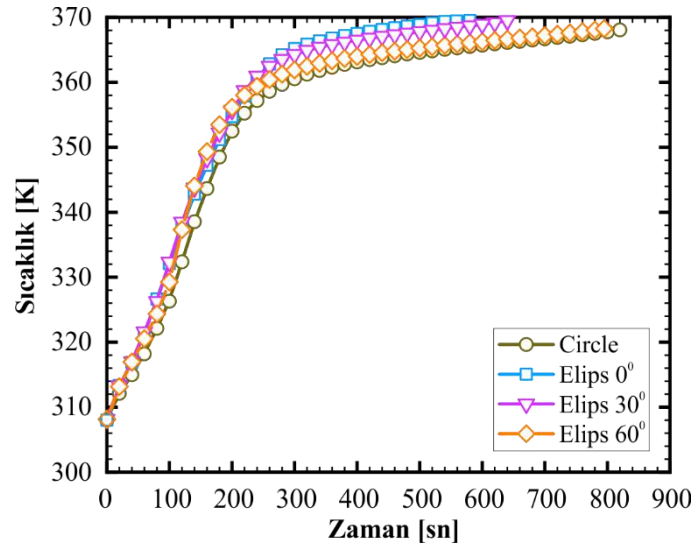
Sıcaklık konturları dönen modeller incelendiğinde 120 sn, 240 sn ve 360 sn için Model 1 hariç diğer modellerde ortalama sıcaklıkların benzer olduğu görülmüştür. Model 1'in diğer modellere

göre düşük olmasının sebebi ısınan yüzey uzunluğunun diğer modellere göre daha küçük olması şeklinde açıklanabilir.



Görsel 7. Tüm Modellerin sıvı oranı grafikleri

Görsel 7'de tüm modellerin zamana bağlı erime eğrileri verilmiştir. En hızlı Model 2'de oluşmuştur. Bunu Model 3, Model 4 ve Model 1 takip etmektedir. Model 4 yaklaşık 200 saniyelere kadar diğer tüm modellerden hızlı erime göstermesine rağmen, tamamen erimesi elipsli diğer modellere göre geç ulaşmıştır. Bunu açısal olarak çevrildikçe elips uç kısmının, dış dairenin alt kısmından uzaklaşması olarak açıklanabilir.



Görsel 8. Tüm Modellerin sıcaklık grafikleri

Görsel 8'de tüm modellerin zamana bağlı sıcaklık değerleri verilmiştir. En yüksek sıcaklığa Model 2 de daha sonra azalan bir şekilde Model 3, Model 4 ve Model 1 de ulaşılmıştır. Elips geometrili modellerde sıcaklığın yüksek olmasının sebebi ısı aktarılan çevre uzunluğunun daha yüksek olmasından dolayı şeklinde açıklanabilir. Açısal değer artması elipsin sivri kısmının ienerji depolama sisteminin alt kısmından uzaklaşması ve doğal konveksiyon etkisiyle alt kısmın yeterince ısınmaması sebebiyle sıcaklıklardaki azalma açıklanabilir.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, sabit ve farklı açılarda yerleştirilmiş dört borulu enerji depolama sisteminde FDM'nin erime süreleri incelenmiştir. Çalışmada enerji depolama sistemlerinde kullanılan FDM içerisindeki düşük termal iletkenlik dezavantajını azaltmayı amaçlamaktadır. Bunun için geometrik değişim ve yerleşim yapılarak erime süreçleri incelenmiştir. Sayısal analizler Model 1 ile %100 erime 815 saniye sürerken, Model 2, Model 3 ve Model 4 ile sırası ile 580 saniye, 640 saniye ve 795 saniye erime süreleri elde edilmiştir. Tamamen erime süresindeki en yüksek düşüş Model 2’te olup, Model 1’e göre erime süresinde yaklaşık %21 azalma olmuştur. Pasif yöntemler kullanarak tüm sistemlerde ısıl verimliliğin iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

14. Bazai, H., Moghimi, M. A., Mohammed, H. I., Babaei-Mahani, R., & Talebizadehsardari, P. (2020). Numerical study of circular-elliptical double-pipe thermal energy storage systems. *Journal of Energy Storage*, 30, 101440.
15. Mahdi, M. S., Mahood, H. B., Alammari, A. A., & Khadom, A. A. (2021). Numerical investigation of PCM melting using different tube configurations in a shell and tube latent heat thermal storage unit. *Thermal Science and Engineering Progress*, 25, 101030.
16. Hekmat, M. H., Haghani, M. H. K., Izadpanah, E., & Sadeghi, H. (2022). The influence of energy storage container geometry on the melting and solidification of PCM. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 137, 106237.
- Huang, X., Hu, R., Gao, X., Yang, X., & Li, M. J. (2024). Study on melting process of latent heat energy storage system by nano-enhanced phase change material under rotation condition. *Applied Thermal Engineering*, 247, 123040.
17. Esapour, M., Hosseini, M. J., Ranjbar, A. A., & Bahrampoury, R. (2016). Numerical study on geometrical specifications and operational parameters of multi-tube heat storage systems. *Applied Thermal Engineering*, 109, 351-363.
18. Dhaidan, N. S., Khodadadi, J. M., Al-Hattab, T. A., & Al-Mashat, S. M. (2013). Experimental and numerical investigation of melting of NePCM inside an annular container under a constant heat flux including the effect of eccentricity. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 67, 455-468.
19. Kumar, A., Verma, P., & Varshney, L. (2022). An experimental and numerical study on phase change material melting rate enhancement for a horizontal semi-circular shell and tube thermal energy storage system. *Journal of Energy Storage*, 45, 103734.

20. Mahdi, M. S., Mahood, H. B., Mahdi, J. M., Khadom, A. A., & Campbell, A. N. (2020). Improved PCM melting in a thermal energy storage system of double-pipe helical-coil tube. *Energy Conversion and Management*, 203, 112238.
21. Alnakeeb, M. A., Salam, M. A. A., & Hassab, M. A. (2021). Eccentricity optimization of an inner flat-tube double-pipe latent-heat thermal energy storage unit. *Case Studies in Thermal Engineering*, 25, 100969.
22. Kadivar, M. R., Moghimi, M. A., Sapin, P., & Markides, C. N. (2019). Annulus eccentricity optimisation of a phase-change material (PCM) horizontal double-pipe thermal energy store. *Journal of Energy Storage*, 26, 101030.
23. Yan, P., Fan, W., Yang, Y., Ding, H., Arshad, A., & Wen, C. (2022). Performance enhancement of phase change materials in triplex-tube latent heat energy storage system using novel fin configurations. *Applied Energy*, 327, 120064.
24. Yang, X. H., Tan, S. C., & Liu, J. (2016). Numerical investigation of the phase change process of low melting point metal. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 100, 899-907.
25. Seddegh, S., Wang, X., & Henderson, A. D. (2015). Numerical investigation of heat transfer mechanism in a vertical shell and tube latent heat energy storage system. *Applied thermal engineering*, 87, 698-706.

NEREDEYSE SIFIR ENERJİLİ BİNA İÇİN YENİLENEBİLİR ENERJİ UYGULAMALARI

Arş. Gör. Gizem Gül KATIRCIOĞLU

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
gkatircioglu@firat.edu.tr- 0000-0003-1015-9392

Doç. Dr. Mehmet DAŞ

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
m.das@firat.edu.tr -0000-0002-4143-9226

Prof. Dr. Ebru AKPINAR

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
ebruakpinar@firat.edu.tr -0000-0003-0666-9189

ÖZET

Artan enerji ihtiyacıyla birlikte, binalarda enerjinin etkin bir şekilde kullanılması ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin entegrasyonu giderek daha önemli hale gelmektedir. Bina üretim süreci, çok sayıda aktörü, karar alma aşamalarını ve ölçütleri içeren, nicel ile nitel verilerin bir arada yer aldığı karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu sürecin gerekliliklerine bağlı olarak, doğru kararlar almayı gerektirir. Bu çalışmanın amacı, neredeyse sıfır enerjili binalarda uygulanabilecek yenilenebilir enerji çözümlerinin belirlenmesi ve belirlenen çözümlerin detaylı bir şekilde açıklanmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, sıfır enerjili bina, enerji tüketimi.

1. GİRİŞ

Enerji talebi ve doğal kaynak tüketimi, nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme gibi etkenlerle giderek artış göstermektedir. Enerji ihtiyacının çevreye zararlı fosil yakıtlar ile karşılanması ve bilinçsiz enerji tüketimi, yenilenemeyen kaynakların hızla tükenmesine, iklim değişikliğine ve doğal çevrenin tahrip olmasına neden olmaktadır. İnsanlığı tehdit eden bu ciddi çevre sorunlarına bir çözüm olarak, petrol, kömür, doğal gaz ve nükleer enerji gibi yenilenemeyen kaynaklara alternatif çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, günümüzün en önemli meselelerinden biri haline gelmiştir. Dünya, Ekim 2021'den itibaren ciddi bir küresel enerji krizinin etkilerini hissetmeye başlamıştır [1]. 2022 yılı boyunca enerji fiyatları, 2008'den bu yana en yüksek seviyelere ulaşmıştır [2].

Uluslararası Enerji Ajansı, 2022'de artan elektrik fiyatlarının yüksek fosil yakıt fiyatlarından kaynaklandığını belirtti. Bu yıl, dünya genelinde enerji krizinin etkileriyle şekillenirken, farklı sektörler yenilenebilir enerji kaynaklarını daha hızlı ve uygun fiyatlarla temin ederek kullanımını artırdı [3-5].

Enerji sektöründe geliştirilen yeni politikalar ve temiz enerji teknolojilerine yapılan yatırımlar enerji verimliliğini teşvik etmektedir. Sorunlarla başa çıkmada büyük bir potansiyel sunmakla birlikte, sektörler arası stratejiler farklılık gösterebilir. Yapılan araştırmalar, binaların enerji tüketiminde önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır [6].

Bina üretimi sürdürülebilir çözümler gerektirirken, enerji kullanımıyla çevresel sorunlar arasındaki ilişki dikkate alınmalıdır. 2021`de, fosil yakıtların binalarda ısı üretimi için kullanımı enerji kaynaklı karbondioksit emisyonlarının %8'ini oluşturdu. Binalarda elektrik ve ısı üretimi, sıcak su sağlanması, termal konfor ve elektrikli cihazların işletilmesi toplam emisyonların 78'ini oluşturur [8,9]. Yaşam alanlarımızın sürdürülebilirliği ve gelecek nesillere aktarımı için doğal kaynakların korunması ve ekolojik dengenin sağlanması büyük bir önem taşımaktadır [10,11]. Günümüzde çevresel durumlar, iklim değişikliği ve enerji krizi, sürdürülebilirliğin sağlanması açısından çözüm bekleyen en kritik sorunlar arasında yer almaktadır. Doğal kaynakların aşırı kullanımı ve çevre kirliliği ile ilgili gerekli önlemlerin hem küresel hem de yerel düzeyde alınmaması durumunda, gelecekteki nesillere kaynakları tükenmiş ve kirli bir dünya miras kalacaktır [12]. Bu çerçevede, 2021 yılında küresel enerji tüketiminin %30'undan ve sera gazı emisyonlarının üçte birinden fazlasından sorumlu olan binalar, yapı üretimi sektörünün öncelikli alanlarından biri haline gelmiştir [13].2021 Küresel Durum Raporu'na göre, binalar ve inşaat sektörü, bina üretim endüstrisinin enerji tüketiminin %36'sını ve enerjiyle bağlantılı karbondioksit emisyonlarının %37'sini oluşturduğunu ortaya koymaktadır [5].

Dünya genelinde bina taban alanının 2050 yılına kadar 415 milyar metrekarenin (m²) üzerine çıkması ve enerji talebinin potansiyel olarak artması öngörülmektedir [15]. Bu çerçevede, küresel ortalama sıcaklık artışının 2 °C' nin oldukça altında ve 1,5 °C' ye mümkün olduğunca yakın bir seviyede tutulması, önümüzdeki 30 yıl içinde bina kaynaklı karbondioksit emisyonlarının %85 oranında azaltılmasını zorunlu kılmaktadır [16]. Binaların enerji taleplerinin artması ve bina kaynaklı emisyonların yükselmesi gibi sorunlar, 2030'dan itibaren inşa edilecek tüm yeni binaların sıfır enerjili olmasını zorunlu kılmaktadır [17]. Asgari performans standartları ve bina enerji mevzuatları giderek genişlemekte ve iyileşmektedir; bu durum, binalarda daha verimli ve Yenilenebilir Enerji Teknolojileri' nin (YET) kullanımının artmasını sağlamaktadır. Ancak, bina sektörünün 2050 yılına kadar Net Sıfır Emisyon Senaryosuna uyum sağlaması için daha hızlı bir dönüşüm gerektiği açıktır [18]. Özellikle, 2030 yılına kadar tüm yeni yapıların ve mevcut bina envanterinin %20' sinin sıfır karbon standartlarına uyum sağlaması büyük bir öncelik taşımaktadır [19].

İklim değişikliği ve çevre kirliliği gibi konuları ele almak için, sürdürülebilirlik hedeflerine odaklanarak enerji verimliliği yüksek, yenilenemeyen enerji kaynaklarına bağımlılığı azaltan ve kendi enerjisini üretebilen sürdürülebilir binaların inşası önemlidir. Bu sayede, yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımını azaltarak iklim değişikliği ve çevre sorunlarıyla başa çıkmak mümkün hale gelebilir [21,22].

Yenilenebilir enerji politikalarının yürütülmesi, yenilenemez enerji kaynaklarının azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının binalarda daha fazla kullanılmasıyla ilgilidir. Ülkelerin karbondioksit emisyonlarını azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına bağımlılıklarını artırmaları önemlidir. Cooke ve diğerleri, YET' in bina tasarımlarına dahil edilmesinin bu hedefe ulaşmanın bir yolu olduğunu belirtmişlerdir. Yenilenebilir enerji kullanımının önemi, yenilenemez kaynakların tükenmesi ile daha da belirgin hale gelmektedir. Ancak, Türkiye'de YET kullanımıyla ilgili bazı uygulama sorunları mevcuttur [23-25].

Yapı Enerji Teknolojileri' nin kullanımı, bina inşaatında sorumluların tercihine bağlıdır. Binalarda yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı, sürdürülebilir kalkınma ve çevre

politikalarının yürütülmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu teknolojiler, toplumsal, ekonomik ve çevresel faydalar sağlayarak genel yaşam kalitesini artırır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi, karbon emisyonlarının azaltılması ve sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmesine önemli bir katkı sağlar [23-25].

Bu sebeplerle YET kullanımı ve neredeyse sıfır enerjili binalara yönelik bilimsel temellerin, yöntemlerin ve araçların geliştirilmesi gerekli hale gelmektedir. Bu çalışmada daha önce yapılan çalışmalar detaylı olarak incelenmiş ve gelecek çalışmalarda önem verilmesi gereken bölümler belirlenmiştir.

2. SIFIR ENERJİLİ BİNA

Sıfır enerjili evlerin temel amacı, içinde yaşayanların konforlu bir yaşam sürmelerini sağlamanın yanı sıra, bu yaşamı doğal yöntemlerle ısıtma ve soğutma gerçekleştirerek enerji tüketimini en aza indirmektir. Bu tür yapılar, günümüz standartlarına göre enerji kullanımında ısıtma ve soğutma alanlarında %70'e varan tasarruf imkanı sunmaktadır.

Güneş panelleriyle elde ettiğimiz enerji, bir evin günlük ihtiyaçlarını karşılamanın yanı sıra, fazla enerjiyi elektrik dağıtım şirketlerine satma imkanı da sunmaktadır. Örnek bir sıfır enerjili bina tasarımı Görsel 1'de gösterilmiştir.



Görsel 1. Sıfır Enerjili Bina Tasarım Görüntüsü

Günümüzde ısınmanın doğalgaz, kömür, odun veya klima gibi enerji kaynaklarıyla sağlandığı düşünüldüğünde, binalarda güneş panellerinin ürettiği enerji kullanarak, dış yalıtımın düzgün bir şekilde yapılması ve evin kış ile yaz cephelerinin doğru bir biçimde ayarlanması sağlıklı ve çok daha düşük maliyetli bir ısınma imkanı sunmaktadır. Ayrıca, güneş enerjisiyle sıcak su temini, çatıya veya güneş ışığını doğrudan alan alanlara yerleştirilen su güneş enerjisi sistemleri aracılığıyla tamamen ücretsiz bir şekilde gerçekleştirilebilir.

2016 yılında Avrupa Birliği tarafından yayımlanan Binalarda Enerji Performansının Değerlendirilmesine dair 2010/31/AB Yönergesi ile Avrupa Birliği'ne üye ülkeler, 2020 yılına kadar konutlarda enerji verimliliğini artırmak ve iyileştirmeler yapmakla yükümlü hale

gelmiştir. Bu hedef doğrultusunda Avrupa Birliği, 2020 yılına kadar neredeyse tüm evlerin sıfır enerji tüketimine ulaşmasını sağlamakta ve böylece dünya genelindeki enerji tüketimini azaltmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, 2030' da sera gazı emisyonlarını %30 oranında azaltmayı hedeflemektedir [26].

Evlerde harcanan enerjinin %20' si elektrikli ev aletleri tarafından tüketilirken, geri kalan %80' i ısıtma, soğutma ve diğer mevsimsel ihtiyaçlar aracılığıyla sağlanmaktadır [27].

Aşağıda bazı yapılan çalışmaların sonuçları paylaşılmıştır.

Bugüne kadar gerçekleştirilen çalışmalar, yalıtımlı dış cephe tasarımının yalıtımsız dış cephe tasarımlarına kıyasla enerji verimliliği açısından oldukça önemli bir ilerleme kaydettiğini göstermiştir. Yalıtımlı ev tasarımının ideal ev tasarımıyla karşılaştırıldığında, %31 oranında bir ısı tasarrufu sağlandığı tespit edilmiştir [28].

Aydınlatma sistemlerinde verimsiz ampuller yerine tasarruflu ampuller kullanılması, enerji tasarrufunda %80 gibi önemli bir iyileşme sağlayabilmektedir. Ayrıca, Low-E ısı kontrol camları üzerine yapılan araştırmalar, bu sistemin enerji verimliliğini %7 oranında artırdığını göstermektedir. Bir evin yıllık enerji tüketimi incelendiğinde, ısıtma ve soğutma için ortalama 10.500 kWh, sıcak su için 1.500 kWh, aydınlatma için 503 kWh ve diğer elektrikli ev aletleri için de 2.908 kWh harcama yapıldığı görülmektedir [29]. Cam sistemlerinin enerji yükü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yaz dönemi soğutma yük profili incelenerek, mevcut durum ve alternatif senaryolar doğrultusunda, soğutma ve ısıtma sezonlarının enerji performansları eş zamanlı olarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar ve hesaplamalar sonucunda, yalıtımlı durumun enerji ihtiyacının, yalıtımsız duruma göre %16 daha az olduğu tespit edilmiştir [30]. Çizelge 1'de bir evin yıllık ortalama enerji ihtiyacı ve bu tüketimin yapıldığı farklı kullanım alanları verilmiştir. Normal standartlardaki bir evin ortalama enerji tüketimi 15.411 kWh'dir. Enerjinin en fazla tüketildiği alan ısıtma ve soğutma sistemleridir.

Çizelge 1. Bir Evin Enerji Tüketiminin Kullanım Alanları

	Tüketilen Enerji (kWh)	Enerji Dağılımı (%)
Isıtma- Soğutma	10.500	68.2
Sıcak Su	1.500	9.7
Elektriksel Cihazlar	503	3.2
Aydınlatma	2.908	18.9
Toplam İhtiyaç	15.411	100

Çizelge 2, sıfır enerji yapısı bileşenlerinin evin enerji tüketimi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Örneğin, toprak kaynaklı ısı kollektörü sistemlerinin boruları belirli bir derinliğe, genellikle 10-15 metre arasında, yerleştirilmektedir. Bu derinlikte yıl boyunca sıcaklık değerleri sabit kalır. Toprak kaynaklı ısı kollektörü sistemi, bu sıcaklığı hem yaz hem de kış aylarında evin içerisine taşır; böylece kullanıcının ısınma veya soğutma için harcadığı enerjiden tasarruf etmesine yardımcı olmaktadır [31].

Çizelge 2. Sıfır Enerji Bileşenlerinin Ev Verimliliği Üzerindeki Etkisi [31]

	Enerji Tasarrufu	Normal Yalıtım	0 Enerji Sistemi
+ Trombe Duvar	%31	Isıtma - Soğutma 10.500 kWh	4734,9 kWh
+TS-825 Isı yalıtımı	%16		
+ Low-E Isı Camları	%7		
+ TKIP	%43		
Verimli Ampül	% 80	503 kWh	100,6 kWh
Elektriksel Cihazlar	-	2.908 kWh	2.908 kWh
Sıcak Su Sistemleri	% 50	1.500 kWh	750 kWh
Toplam Kazanç	% 44,88	15.411 kWh	8.493,5 kWh

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ TEKNOLOJİLERİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

1980'li yıllardan itibaren, doğal çevrenin korunması ve iklim değişikliği ile mücadele konularında dünya genelinde yürütülen çalışmalar sonucunda, 1992' de Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS), 1997' de Kyoto Protokolü (KP) ve 2015' te de Paris Anlaşması (PA) ortaya çıkmıştır. Son zamanlarda gerçekleştirilen enerji krizi çerçevesinde, Avrupa Birliği'nin hayata geçirdiği RePowerEU projesi ve Amerika Birleşik Devletleri'nde kabul edilen Enflasyonu Düşürme Yasası, enerji verimliliğinin önemini vurgulayan önemli adımlar olarak değerlendirilmekte. Bu projeler, temiz enerji kaynaklarının desteklenmesi ve fosil yakıtta olan bağımlılığın azaltılması hedeflerini içermektedir [32,33].

Bu çalışmalar, temiz enerji desteklerini ve fosil yakıtta bağımlılığın azaltılması hedeflerini kapsamaktadır. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA), 2050 yılına gelindiğinde birçok ülkenin toplam nihai enerji tüketiminin %60'ını veya daha fazlasını yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşturabileceğini öne sürmüştür [34]. Fosil yakıtların, çevrenin korunması ve sürdürülebilir bir gelecek için yenilenebilir enerji kaynaklarıyla değiştirilmesi son derece önemlidir.

ETKB 2022 yılında Türkiye Ulusal Enerji Planı doğrultusunda, elektrik tüketiminin 2025 yılında 380,2 TWh, 2030 yılında 455,3 TWh ve 2035 yılında ise 510,5 TWh seviyelerine ulaşması beklenmektedir. 2022 yılında Türkiye'nin elektrik tüketimi, 2021 yılına göre %0,5 azalarak 331,1 TWh; elektrik üretimi ise %1,9 düşüş göstererek 328,3 TWh olarak kaydedilmiştir. 2023 yılı Eylül ayı itibarıyla Türkiye'nin Kurulu gücü 105. 668 MW seviyesindedir. ETKB' nin 2023 verilerine göre, 2022 yılı elektrik üretim yüzdeleri ile 2023 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı ve elektrik enerjisi üretim santrali sayıları Çizelge 3' te sunulmuştur [35]. Aynı zamanda, elektrik enerjisi üretim santrali sayısının 2023 yılının Eylül ayı itibarıyla toplamda 12. 562 olduğu tespit edilmiştir; bu rakama lisanssız santraller de dahildir.

Çizelge 3. Türkiye’de Elektrik Üretim Yüzdeleri, Kurulu Gücün Kaynaklara Göre Dağılımı Ve Elektrik Enerjisi Üretim Santrali Sayıları [35].

Enerji	Elektrik üretimi	Kurulu Güç (WM)	Mevcut santraller
	2022	2023	2023
		105.668 MW	12.562 adet
Kömür	%34,6	%20,6	68
Doğal gaz	%22,9	%24	343
Hidrolik	%20,3	%29,9	753
Rüzgar	%10,6	%11	363
Güneş	%5,1	%10,3	10.479
Jeotermal	%3,4	%1,6	63
Diğer	%3	%2,6	493

ETKB’ nin yenilenebilir enerji verilerine göre, 2022 Haziran itibariyle, güneş, rüzgar, jeotermal, hidrojen ve biyokütle enerjisinin Türkiye’de yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı Çizelge 4’ te verilmiştir [35].

Çizelge 4. Türkiye’de Yenilenebilir Enerjilerin Yıllara Göre Kurulu Güç Değişimi Ve Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı [35]

Enerji	Yıl	Kurulu Güç (WM)	Toplam kurulu güç içerisindeki oranı
Güneş	2011	0	%0,00
	2022	8.479	%8,35
Rüzgar	2011	1.729	%3,96
	2022	10.976	%10,81
Jeotermal	2011	114	%0,22
	2022	1.686	%1,66
Hidrojen	2011	6.516	%7,65
	2022	7.005	%7,91
Biyokütle	2011	115	%0,22
	2022	2.172	%2,14

3.1. Türkiye’de Binalara Yönelik Yenilenebilir Enerji Çalışmaları

Bina sektörü, 2020 yılında küresel nihai enerji tüketiminin yaklaşık %33’ünü kapsamaktadır. Bu sektörün enerji ihtiyacının ise yaklaşık %15,5’i yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır [36].

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), tüm binaların 2050 yılına kadar sıfır enerji ve sıfır karbon standartlarına yönelik yenilenebilir enerji stratejilerine sahip olmasını beklemektedir [5]. Hem küresel ölçekte hem AB çerçevesinde yapılan çalışmalar ile uyumlanma sürecinde, Türkiye’de binaları kapsayan çalışmalar Çizelge 5’ te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Türkiye’de Binalarda Enerji Verimliliği Politikaları Süreci

Türkiye’de Binalarda Enerji Verimliliği Politikaları Süreci		
Yıl	Sayı	Yönetmelik
1999	23725	Isı Yalıtım Yönetmeliği Çalışmaları
2008	27019	Isı Yalıtım Yönetmeliği
2007	26510	Enerji Verimliliği Kanunu
2008	27075	Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği
2010	27539	Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği- Değişiklik
2010	27627	Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği- Değişiklik
2011	27851	Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği- Değişiklik
2011	27911	Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği- Değişiklik
2017	30051	Binalar ile Yerleşmeler İçin Yeşil Sertifika Yönetmeliği- Değişiklik
2018	30289	Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023
2022	31755	Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği- Değişiklik

3.2. Yenilenebilir Enerji Teknolojilerinin Binalarda Kullanılması

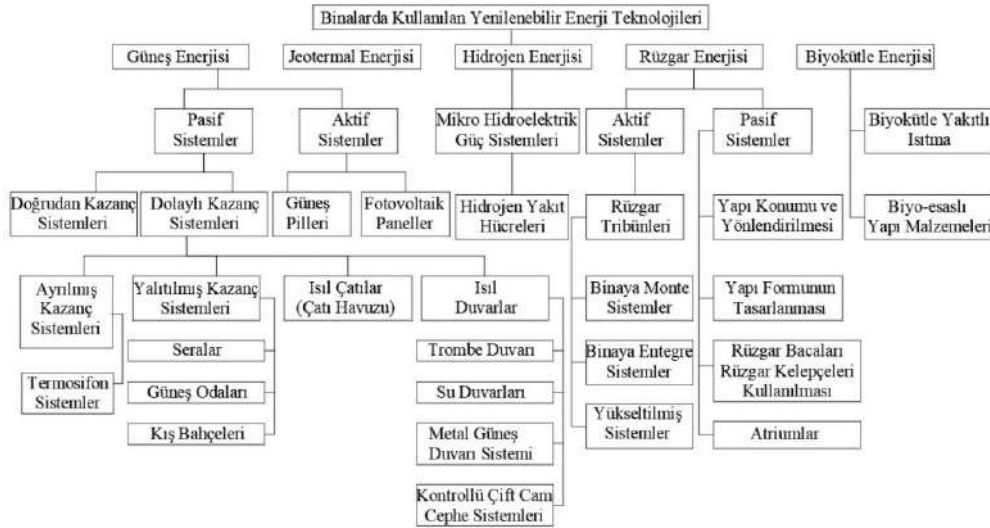
Yenilenemez kaynakların tükenmesi, binalarda yenilenebilir enerji kullanımının önemini gözler önüne sermektedir. Artık, binaların enerji ihtiyaçlarının bir kısmını karşılamak için yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımı giderek daha yaygın hale gelmektedir. Yenilenemez kaynaklar üzerindeki baskıyı azaltmak için, dünya genelinde yenilenebilir kaynakların etkin bir şekilde kullanılması büyük bir fırsat sunmaktadır.

Bir binanın elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla yenilenebilir enerji teknolojilerinin (YET) kullanılmasının, geleneksel enerji tüketiminin azaltılmasında önemli bir rol oynadığı açıktır [37]. Avrupa Birliği, 2023-2027 döneminde fosil yakıt ithalatını kademeli olarak durdurmayı ve 2025 yılı itibarıyla tüm kamu binalarının çatılarına fotovoltaik (PV) sistemler kurmayı hedeflemektedir.

Çin, tüm yeni kamu binaları ve fabrikalar için yerinde yenilenebilir enerji uygulamalarını teşvik ederek 50 GW güneş PV gücü kurulum hedefi belirlemiştir. Yenilenebilir enerji, ülkedeki bina enerji tüketiminin yaklaşık %20' sini karşılamaktadır [38]. Ancak, binalarda elektrik üretimi, ısıtma, soğutma ve havalandırma gibi amaçlarla kullanılabilir. YET ‘in binalarda uygulanabilmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur. Yerinde enerji üretimi sayesinde YET, bina enerji ihtiyaçlarını karşılamada sürdürülebilir çözümler sunmaktadır. YET ‘in binalarda kullanımını, yerel enerji üretimini destekleyerek enerji bağımlılığını azaltır, çevre koruma çabalarına katkıda bulunur, doğal kaynakların tükenmesini engeller ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı sunar [39-41]. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’ne göre, yenilenebilir enerji, hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynaklarından elde edilen enerji türlerini ifade etmektedir [42]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na (ETKB) göre, yenilenebilir enerji çeşitleri arasında güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, biyokütle enerjisi, nükleer enerji, dalga enerjisi ve gel-git enerjisi yer almaktadır.

Kara ve Akın, yenilenebilir enerji kaynaklarını güneş, rüzgâr, hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal enerjiler şeklinde sınıflandırmıştır. Binalarda kullanılacak yenilenebilir enerji teknolojilerine örnek olarak ise güneş enerjili elektrik sistemleri (fotovoltaik PV), güneş enerjili sıcak su sistemleri (kullanım suyu ısıtma ve alan ısıtma), güneş enerjili havalandırma ve ön ısıtma sistemleri, jeotermal ısı pompaları, rüzgâr türbinleri ve biyokütle sistemleri verilebilir [43,44]. Ma ve arkadaşları, binalarda kullanılan yenilenebilir enerji teknolojilerini çeşitli kategorilere ayırmıştır. Bu kategoriler arasında rüzgar enerjisi (binaya monte, binaya entegre ve bina dışı sistemler), güneş enerjisi (aktif ve pasif sistemler), jeotermal enerji, biyokütle (biyokütle yakıtlı ısıtma ve biyobazlı bina malzemeleri) ve diğer alternatif kaynaklar (mikro hidro güç sistemleri, hidrojen hücreleri) yer almaktadır [45]. Güneş, rüzgar, hidrojen, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji teknolojileri Görsel 2’ de gösterildiği gibi, elektrik ve ısıtma-soğutma taleplerini karşılamak için binalara entegre edilebilmektedir [44-46].

Görsel 2. Binalarda Kullanılan Yenilenebilir Enerji Teknolojileri[43-45]



3.2.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde hidrojen gazının helyuma dönüşmesi süreciyle ortaya çıkan bir enerji kaynağıdır. Bu enerji, çevreye zarar vermemesi ve zararlı atık üretmemesi ile dikkat çeker. Düşük maliyetli, kullanımı ve uygulanması kolay olan güneş enerjisi, tükenmeyen bir yenilenebilir kaynak olarak da önemli bir tercih sunmaktadır [47]. Güneş enerjisi üzerine yapılan çalışmalar, 1970’lerden itibaren hız kazanmış; bu süreçte güneş enerjisi sistemlerinin teknolojisi ilerlemiş ve maliyetleri düşmüştür.

3.2.1.1. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

Güneş enerjisi teknolojileri, yöntem, malzeme ve teknolojik sistemler açısından geniş bir çeşitlilik sunmaktadır. Bu teknolojiler, güneş enerjisini doğrudan ışık veya ısı enerjisi olarak kullanmanın yanı sıra, fotovoltaik sistemler gibi aktif yöntemler aracılığıyla güneş ışığını elektrığe dönüştürerek elektrik üretiminde de kullanılmaktadır [48].

Güneş enerjisinin kullanım alanları oldukça geniştir. Doğrudan veya dolaylı olarak elektrik üretimi, sıcak su teknolojileri, ısıtma ve soğutma sistemleri, sanayi süreçlerinde kullanılan ısı enerjisi ve sera ısıtması bu alanlar arasında yer almaktadır. "Yerinde üret, yerinde tüket" anlayışı çerçevesinde, binaların çatı ve cephelerinde güneş enerjisi teknolojileri kullanılarak enerji ihtiyacı karşılanabilir [49].

Güneş enerjisi sistemleri, binaların ısıtma, soğutma, elektrik ve aydınlatma ihtiyaçlarını karşılamak üzere son derece uyumlu bir şekilde uygulanabilir. Güneş enerjisi termal kollektörleri ve fotovoltaiik paneller, evler, oteller ve spor merkezleri gibi yapıların cepheleri ile yatay veya eğimli çatıları üzerinde başarıyla kullanılmaktadır. Bu sayede, binalarda fotovoltaiik hücreler, güneş enerjili su ısıtıcıları ve güneş destekli iklimlendirme sistemleri aracılığıyla güneş enerjisinden etkin bir şekilde faydalanmak mümkündür [49-51]. Binalarda kullanılabilecek güneş enerji teknolojileri Çizelge 6'daki gibi sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 6. Güneş Enerji Teknolojilerinin Bina Kullanım Alanları

Kullanım Alanı	Kullanıldığı Yer
Elektrik üretimi	<ul style="list-style-type: none">•Genellikle çatıya monte edilen güneş panellerini kullanarak doğrudan güneşten elektrik üreten çatı üstü fotovoltaiik (PV) sistemler•Çatıda, duvarlarda ve hatta bazı durumlarda pencerelerde (şeffaf paneller kullanarak) binaya entegre edilmiş güneş panellerini kullanarak doğrudan güneşten elektrik üreten entegre PV sistemler
Sıcak su sistemleri	<ul style="list-style-type: none">•Suyu doğrudan güneşten ısıtan güneş enerjisi sistemleri•Havadan, sudan veya zeminden gelen sıcaklığı kullanarak suyu ısıtan ısı pompaları
Solar ısıtma ve soğutma sistemleri	<ul style="list-style-type: none">•Güneşin ısınımasını soğutma ve / veya nem alma işlemlerini yürütmek için kullanan güneş termal soğutma•Çevredeki havadan, sudan veya yerden ısı çeken ve artıran ısı pompaları gibi güneş enerjisiyle ısıtma sistemleri•Binaları 'aktif' ısıtma ve soğutma sistemlerine ihtiyaç duymadan doğal olarak ısıtan veya soğutan 'pasif' güneş enerjisi tasarım çözümleri

3.2.1.2. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça elverişli bir coğrafi konuma sahiptir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerine göre, ülkemizde ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2. 741 saattir ve ortalama yıllık toplam ışınım değeri ise 1. 527,46 kWh/m² olarak belirlenmiştir. GEPA' nın Türkiye'nin güneş enerji potansiyelini ve aylık ortalama küresel radyasyon dağılımını gösteren görseli, Görsel 3' te yer almaktadır [52].



Görsel 3. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası

Türkiye’de güneş enerjisi yatırımı için değerlendirilebilecek çatı alanları Çizelge 7’ de gruplandırılmıştır [52].

Çizelge 7. Türkiye’de Güneş Enerjisi Yatırımı İçin Değerlendirilebilecek Çatı Alanları [52]

Türkiye’de güneş enerjisi yatırımı için değerlendirilebilecek çatı alanları	
Konutlar- müstakil evler	Alışveriş merkezleri
Yazlık müstakil yeni evler	Kıyı şeridindeki turistik tesisler
Site ve apartman çatıları	Oteller
Kentsel dönüşüm kapsamında yeni yapılar	Ticarethaneler (depo, lojistik merkezi vb)
Otoparklar	Kamu binaları
Petrol istasyonları	Askeri tesisler
Kapalı pazar yerleri	Okullar
Büfeler	Havaalanı tesisleri
Fabrika çatıları	İbadethaneler
Stadyumlar ve spor salonları	Tarımsal işletmeler
Ahır ve kümes çatıları	Otobüs durakları

3.2.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgarın temel kaynağı güneştir. Güneşten gelen radyasyon, yer kürede homojen bir ısınma sağlamadığı için, farklı sıcaklık, basınç ve nem değerlerinin ortaya çıkmasına yol açar; bu da rüzgarların oluşumunu tetikler. Rüzgarın özellikleri ise zamanla, coğrafi farklılıklarla ve yeryüzünün farklı ısınma şekilleriyle değişiklik göstermektedir. Rüzgar, hız ve yön parametreleri ile tanımlanır; ayrıca rüzgar hızı, yükseklik ile artmakta ve bu durum teorik gücün de hızla bağlantılı olarak değişmesine neden olmaktadır [53].

Rüzgar enerjisi teknolojilerinin avantajları ve dezavantajları Çizelge 8’de maddeler halinde özetlenmiştir.

Çizelge 8. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar Enerjisi	
Avantajları	Dezavantajları
Çevre dostu, temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olması	Yüksek ilk yatırım maliyeti
Maliyetinin diğer enerji teknolojileriyle rekabete uygun olması	Sabit enerji üretimi yapılamaması
Düşük bakım, onarım ve kullanım maliyetleri	Düşük kapasite faktörüdür
Teknolojik olarak uygulama ve kullanım kolaylığı, kısa süreli uygulama ve kurulum	

3.2.2.1. Rüzgar Enerjisi Kullanım Alanları

Rüzgar enerjisi, binalarda aktif ve pasif sistemlerle havalandırma, soğutma ve elektrik enerjisi üretimi gibi çeşitli amaçlarla kullanılabilir. Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan rüzgar türbinleri, hareket halindeki havanın kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye, ardından da elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir [53].

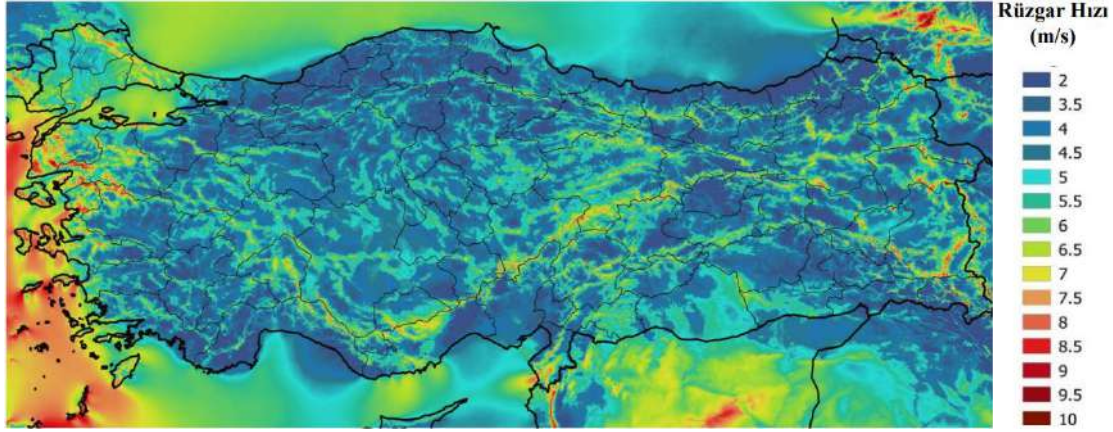
İngiltere, İsveç, Hollanda ve diğer gelişmiş ülkeler, 2001 yılından bu yana şehirlerde ve yüksek binalarda, rüzgar enerjisi üretimine ilişkin araştırma ve uygulamaları teşvik etmektedir. Bu teşvikler, elektriğin uzaktan taşınmasından doğan maliyetlerin düşmesine ve yatırım maliyetlerinin azalmasına yardımcı olmaktadır [54]. Çin'deki hızlı kentleşme, küçük ölçekli rüzgar türbinleriyle entegre edilebilecek pek çok binanın inşa edilmesine yol açmıştır. Bu durum, rüzgar potansiyelinin değerlendirilmesi meselesini gündeme getirmektedir [51].

Rüzgar enerjisi genellikle geniş açık alanlar ve kentsel bölgelerden uzak yerlerde en etkili şekilde kullanılmasına rağmen, yoğun nüfuslu şehirlerdeki yüksek binaların artışı, bu alanda yeni fırsatlar sunmaktadır [45].

Düzyük aralıklarla yerleştirilen yüksek binalar, rüzgar enerjisini kısa mesafelerde etkili bir şekilde kullanma ve aktarma yeteneğine sahiptir. Rüzgar enerjisi, şehirlerde yüksek bina enerji talebinin yaklaşık %10 ila %20'sini karşılama potansiyeline ulaşmaktadır. Kentsel rüzgar enerjisi sistemleri ise genellikle binalara ve çevresindeki arazilere yerleştirilen, güç kapasiteleri 1 ila 20 kW arasında değişen rüzgar türbinlerinden oluşmaktadır. Bunun yanı sıra, rüzgar enerjisi sistemlerinin etkili bir şekilde tasarlanıp konumlandırılabilmesi için yerel çevre koşullarının ve kentsel sınır katmanlarının titizlikle değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır [55].

3.2.2.2. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

2006 yılında hazırlanan Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA-V1) verilerine göre, yer seviyesinin 50 metre yukarısında ve yıllık ortalama rüzgar hızları 7,5 m/s'yi aşan alanlarda, her kilometrekare için 5 MW gücünde rüzgar santrali kurulabileceği kabul edilmiştir. Bu çerçevede, Türkiye'de inşa edilebilecek rüzgar elektrik santrallerinin toplam kapasitesinin 47.849,44 MW olduğu tespit edilmiştir. Görsel 4' te Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli haritası gösterilmiştir.



Görsel 4. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Haritası

3.2.3. Jeotermal enerji

Jeotermal enerji, dünyanın derinliklerinde biriken sıcaklığın yarattığı sıcak su, buhar ve gazların yüzeye taşıdığı ısı enerjisidir. ETKB' ye göre, bu enerji türü yenilenebilir, temiz, ekonomik ve çevre dostu bir yerli yeraltı kaynağıdır [52].

3.2.3.1. Jeotermal enerjinin kullanım alanları

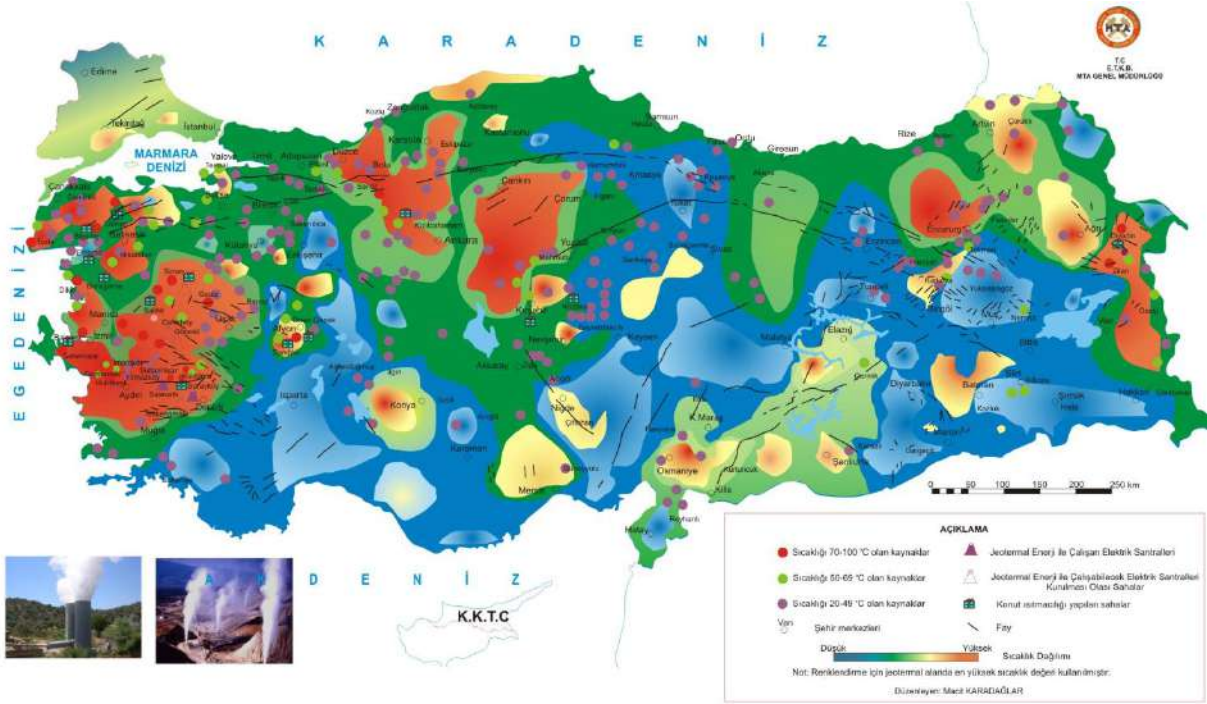
Jeotermal enerjinin başlıca kullanım alanları, elektrik enerjisi üretimi, termal tesisler ve konut ve seraların ısıtılmasıdır. Jeotermal enerji, binaların ısıtılması, soğutulması ve elektrik enerjisi üretilmesi gibi çeşitli amaçlarla kullanılabilir. Özellikle jeotermal ısı pompaları, bu alanlarda etkin bir şekilde hizmet vermektedir [46]. Jeotermal enerji, binalarda ısı pompası teknolojisi ile kullanılarak, geleneksel ısıtma ve soğutma ekipmanlarına göre %30-70 oranında enerji tasarrufu sağlamaktadır [56]. Jeotermal enerjinin kullanım alanları Çizelge 9' da gösterilmiştir.

Çizelge 9. Jeotermal Enerji Kullanım Alanları

Elektrik üretimi; jeotermal sahalarda açılan kuyulardan üretilen akışkan seperatörlerde buhar ve su olarak ayrıştırıldıktan sonra türbin ve jeneratör ile elektrik enerjisi üretilir.
Isı üretimi; düşük sıcaklık, basınç ve debideki jeotermal kaynakların sera, organik tarım, ürün kurutma, bölgesel ısı ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla değerlendirilmesidir.
Termal turizm ve sağlık amaçlı kullanımı; insan sağlığına yararlı mineraller içerebilen düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklı suların sağlık amaçlı kullanılır.

3.2.3.2. Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli

Türkiye, jeolojik ve coğrafi konumu nedeniyle aktif bir tektonik kuşak üzerinde yer almakta ve bu özelliğiyle jeotermal enerji açısından dünya genelinde zengin bir konumda bulunmaktadır. Ülke genelinde, farklı sıcaklıklarda yaklaşık 1.000 doğal çıkış noktası ile jeotermal kaynaklar mevcuttur. Türkiye, jeotermal potansiyeli bakımından Avrupa'nın birincisi, kurulu güç bakımından ise dünya sıralamasında dördüncü sıradadır. Jeotermal kaynakların dağılımını gösteren harita Görsel 5' te gösterilmiştir.



Görsel 5. Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli Haritası

3.2.4. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun" çerçevesinde, ithal edilmemesi koşuluyla tanımlanır. Bu tanım, belediye atıkları (çöp gazı dahil), bitkisel yağ atıkları, gıda ve yem değeri taşımayan tarımsal atıklar, endüstriyel odun dışındaki orman ürünleri, atık lastiklerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünler, sanayi atık çamurları ve arıtma çamurlarını kapsamaktadır [57].

3.2.4.1. Biyokütle Enerjisi Kullanım Alanları

Biyokütle enerjisi, bitkisel atıklar ve diğer organik malzemelerden elde edilerek, binalarda ısı ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan biyokütle kazanları, özellikle ısıtma ve sıcak su temini için önemli bir rol oynamaktadır [58]. Biyokütle kaynakları Çizelge 10' da gösterilmiştir.

Çizelge 10. Biyokütle Kaynakları

Tarımsal Biyokütle Kaynakları	<ul style="list-style-type: none"> Yağlı tohumlu bitkiler (kanola, ayçiçeği, soya vb.) Şeker ve nişasta bitkileri (patates, buğday, mısır, şeker pancarı vb.) Elyaf bitkileri (keten, kenevir, sorgum, miskantus, vb.) Bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk, vb.)
Orman ve Orman Ürünlerinden Elde Edilen Biyokütle Kaynakları	<ul style="list-style-type: none"> Orman ve ormancılık endüstrisi atık ve artıkları, enerji ormanları, enerji bitkileri
Hayvansal Biyokütle Kaynakları	<ul style="list-style-type: none"> Büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarının dışkıları, mezbaha atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar
Kentsel ve Endüstriyel Atıklardan Elde Edilen Biyokütle Kaynakları	<ul style="list-style-type: none"> Biyolojik kökenli endüstri atıkları, belediye atıkları, arıtma çamurları

3.2.4.2. Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli

ETKB tarafından biyokütle enerji potansiyelini belirlemek üzere hazırlanan Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA) verilerine göre, toplanabilir atıklarımızın toplam ekonomik enerji eşdeğeri yılda yaklaşık 3,9 MTEP olarak değerlendirilmiştir.

BEPA, şehir ve ilçe düzeyinde atık bazında teorik biyokütle potansiyeli ile ekonomik enerji, Görsel 6' da verilmiştir. Enerji Atlası da, işletmedeki ve inşaat aşamasındaki biyogaz, biyokütle, atık ısı ve pirolitik yağ enerji santralleri gibi çeşitli istatistiksel verileri sunmaktadır. 2023 yılına ait verilere göre, Türkiye'deki biyokütle, biyogaz, atık ısı ve pirolitik yağ enerji santrallerinin toplam kurulu gücü 1. 755 MW olarak belirlenmiştir. 2021 yılında bu santraller 7. 371. 770. 000 kilovat-saat elektrik üretimi gerçekleştirmiştir [59,60].



Görsel 6. Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Haritası [59,60]

3.2.5. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen enerjisi, hidrojen moleküllerinin ayrışmasıyla ortaya çıkan kimyasal bir enerjidir. Hidrojen, elektrik ve ısı üretiminde çeşitli yöntemlerle kullanılabilir. Öte yandan, hidroelektrik enerji santralleri, belirli bir yükseklikteki suyun, daha düşük seviyedeki türbinlere aktarılmasıyla elektrik üretme prensibine dayanır [61]. Bu santraller, “çevre dostu, temiz,

yenilenebilir, düşük riskli, yüksek verimli, yakıt maliyeti olmayan, uzun ömürlü ve işletme giderleri son derece düşük olan, dışa bağımlılıktan uzak bir yerli enerji kaynağı” olarak öne çıkmaktadır [59-61].

3.2.5.1. Hidrojen Enerjisi Kullanım Alanları

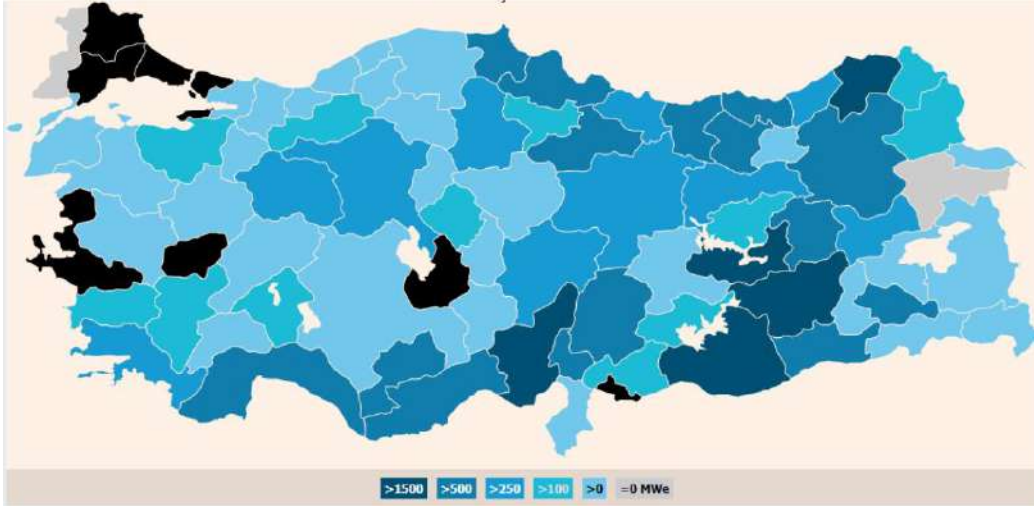
Hidrojen enerjisinin binalarda kullanımını ise henüz yaygınlaşmamış olsa da, binalardaki ısıtma ve soğutma süreçlerinin karbondan arındırılması için potansiyel bir çözüm olarak araştırılmaktadır [58,61,62].

Yaygın yaklaşım, binalar için hem elektrik hem de ısı üretebilen yakıt hücrelerini içermektedir. Ancak hidrojen enerjisi, potansiyelini keşfetmeye yönelik devam eden projelere rağmen hâlâ başlangıç aşamasındadır. Binalarda hidrojen enerjisinin benimsenmesi, yüksek üretim maliyetleri, sınırlı altyapı ve hidrojenin taşınmasıyla ilgili güvenlik kaygıları gibi zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu durum, hidrojen enerjisinin binalarda yaygın bir şekilde entegrasyonunu kısıtlamaktadır [58,61,62].

Sharifishourabi, Dincer ve Mohany’ nin çalışması, konut binaları için sonohidrojen sistemi ile güneş ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını bir araya getiren yeni birçoklu enerji üretim sistemini tanıtmaktadır. Bu çalışma, binalarda sonik hidrojen üretimi sağlayan entegre bir güneş-jeotermal enerji sisteminin geliştirilmesi ve değerlendirilmesine odaklanarak, hidrojen enerjisinin hibrit sistemler şeklinde nasıl kullanılabileceğine dair önemli bir örnek sunmaktadır [62].

3.2.5.2. Türkiye Hidroelektrik Enerji Potansiyeli

Hidroelektrik enerji, su kaynaklarının kullanılmasıyla elde edilmekte ve binalarda elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilir. 2021 yılında hidroelektrik kaynaklardan toplamda 55,5 milyar kWh elektrik üretilmiştir. 2022 yılı Mayıs ayının sonlarına gelindiğinde, bu rakam yaklaşık 35,2 milyar kWh seviyesine ulaşmıştır. Enerji atlası verileri sayesinde, şehir bazında işletmede olan veya yapım aşamasındaki hidroelektrik santralleri gibi birçok istatistiki bilgiye kolaylıkla ulaşmak mümkündür. Türkiye’deki hidroelektrik santrallerinin illere göre dağılımını gösteren harita ise Görsel 7’de yer almaktadır. Türkiye’deki hidroelektrik santrallerinin toplam kurulu gücü 31. 555 MW’ dır. 2021 yılı itibarıyla bu santraller, 55. 695. 231. 650 kilovatsaat elektrik üretmiştir [63].



Görsel 7. Türkiye'deki Hidroelektrik Santrallerin İllere Göre Dağılım Haritası

4. SONUÇ

Enerji krizi, çevre kirliliği ve iklim değişikliği gibi dünyanın karşılaştığı ortak sorunlarla mücadele ettiğimiz bu dönemde, binalarda çevre dostu ve sürdürülebilir teknolojilerin kullanılması gelecekte yaşayan nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak adına son derece önem taşımaktadır. Bu konuda yapılan çalışmada, yenilenebilir enerji teknolojilerinin binalarda uygulanması üzerine gerçekleştirilen literatür taramaları ve uzman gruplarla yapılan görüşmeler sayesinde Türkiye'deki durumu, karşılaşılan engelleri, mevcut fırsatları, yenilenebilir enerji teknolojileri alanında etkili aktörleri, kriterleri ve alternatif teknolojiler ile süreçleri kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır.

Geçmişten günümüze, enerji tüketimiyle ilgili alınan önlemler, hükümetlerin sağladığı teşvikler ve teknolojik gelişmeler sayesinde bu alanda enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımında önemli artışlar sağlanmıştır.

Tüm bu çalışmalar tamamlandıktan sonra, Türkiye'deki mevzuatın yeni yapılacak binaların enerji tüketimi açısından tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir. Bu sayede, binalar yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip olmasa bile enerji tüketimlerinin düşük seviyelerde tutulması mümkün olacaktır. Bu nedenle, 2050 'Net Sıfır' hedefleri doğrultusunda, Neredeyse Sıfır Enerjili Bina hedefine ulaşmak için daha gerçekçi yaklaşımlar geliştirilmesi beklenmektedir. Sıfır enerjili bina hedefleri doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynaklarından aşağıdaki çıktıların alınması beklenmektedir.

Hidroelektrik: Hidroelektrik, dünya çapında önemli bir elektrik enerjisi kaynağıdır ve küresel gücün beşte birini üretir. Hidroelektrik enerjisinin sırasıyla 63 ve 23 ülke için ulusal elektriğin en az %50'sini ve %90'ını sağladığı tahmin edilmektedir.

Güneş: Güneş enerjisi, fotovoltaik paneller veya güneş termal panelleri aracılığıyla kullanılabilir. Üretilen enerji miktarı büyük ölçüde üzerlerine düşen güneş ışığı miktarına bağlıdır ve bu miktar dünya genelinde büyük ölçüde değişir. Atmosferimizin üst seviyelerinde güneş radyasyonunun enerji yoğunluğu yaklaşık 1368 W/m^2 dir. Dünya yüzeyindeki enerji yoğunluğu, açık bir günde deniz seviyesinde güneş ışınlarına dik bir yüzey için yaklaşık 1000 W/m^2 ye düşer.

Rüzgar: Rüzgar türbinleri rüzgarın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Rüzgardan gelen hava akışı bir türbinin kanat bölümüne çarptığında kaldırma kuvveti sürüklenme

kuvvetinden önemli ölçüde daha büyüktür ve bu da kanatların elektrik üretmek için dönmesine neden olur.

Biyokütle: Neredeyse sıfır enerjili binaların istikrarlı bir enerji tedariki elde etmek için güvenilir bir enerji kaynağına sahip olması gerektiğinden, biyokütle, rüzgar veya güneş enerjisinin olduğu gibi iklim koşullarından etkilenmediği için en uygun yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olma eğilimindedir ve sistemi sürdüren yeterli hammadde olduğu sürece istikrarlı bir tedarik normalde sağlanabilir. Ayrıca, biyokütle sistemleri basit bir tasarıma sahiptir ve sistemler için gereken yapılara kıyasla inşa edilmesi daha kolaydır.

Jeotermal: Binaları ve kentleri merkezi sistemle ısıtmada ve sıcak kullanma suyu Şebekelerinde (İzlanda, Yeni Zelanda, Fransa, Japonya, ABD ve Macaristan’ da olduğu gibi) 40⁰C nin üzerindeki sıcaklıkta jeotermal akışkanlar kullanılmaktadır. Ülkemizde halen az sayıda yerleşme merkezinde jeotermal enerjiden yararlanılarak konutlar ısıtılmakta, bazı yerleşmelerde ise konutların bu yolla ısıtılması için çalışmalar yapılmaktadır. 40 ⁰C’ nin üzerindeki jeotermal sularla konutların ısıtılabilirdiği ve bunun dünyada birçok örnekleri olduğu dikkate alınarak, ülkemizde yaklaşık 5 milyon konutun jeotermal enerjiden yararlanarak ısıtılabilirdiği ileri sürülmektedir. Bu varsayım gerçekleşirse İzmir, Bursa, Aydın, Erzurum, Sakarya ve Denizli gibi büyük şehirlerin yer aldığı 51 Şehir yerleşmesinin ısıtılmasında, jeotermal enerji kullanılabilir. Türkiye 40 ⁰C’ nin üzerinde sıcaklığa sahip jeotermal kaynak zenginliği açısından dünyada 7. sırada gelmektedir. Sıcaklığı 30-60 ⁰C’ ler arasında değişen jeotermal su, konutların ısıtılmasını kolay ve pratik bir şekilde sağlamaktadır. Daha düşük sıcaklıklara sahip jeotermal kaynaklardan yararlanmanın yöntemi “ısı pompaları”dır. Isı pompası 30-50 ⁰C’ lerdeki ve debisi düşük olan jeotermal suyun sıcaklığını bu suyun ekonomik olarak yükselttiğinden önemlidir. Bu yöntemle jeotermal suyun sıcaklığı 44-50 ⁰C’ ler arasında yükseltirken, en fazla elde edilen sıcaklık derecesi 110 ⁰C olmuştur.

Isı pompaları: hem maliyet açısından etkili hem de enerji açısından verimli olabilir. Sadece enerji ve maliyet faktörleri nedeniyle değil, aynı zamanda bağlı enerji şebekelerinin çalışmasını desteklemek için talep yanıt yetenekleri nedeniyle de gelecekteki neredeyse sıfır enerjili bina gereksinimlerini karşılamak üzere planlanan yüksek performanslı binalarda önemli bir rol oynayabilirler.

KAYNAKÇA

- [1] Bharti, J., Hitaishi S., Understanding of General Population toward Global Energy Crisis: A Qualitative Study, Changing Competitive Business Dynamics Through Sustainable Big Data Analysis. Bentham Science Publishers, 144-165, 2024.
- [2] <https://www.forbes.com/sites/rrapier/2022/12/31/the-year-in-energy-prices/> (Erişim tarihi: 15.12.2024)
- [3] <https://www.iea.org/reports/buildings> (Erişim tarihi: 15.12.2024)
- [4] <https://www.ren21.net/gsr-2023/> (Erişim tarihi: 15.12.2024)
- [5] <https://www.arkitera.com/haber/globalabc-2021-kuresel-durum-raporu/> (Erişim tarihi: 15.12.2024)
- [6] <https://www.apren.pt/contents/publicationsothers/irena-oil-companies-energy-transition-2021.pdf> (Erişim tarihi: 16.12.2024)

- [7] Uşma, G., *Enerji Etkin Konutlar ve Kullanıcı Memnuniyeti*. Nobel Akademik Yayıncılık, 2023.
- [8] Özdemir, E., Ercan, B., Avrupa Yeşil Mutabakatının Enerji Sektörüne ve Otomotiv Endüstrisine Etkileri ve Sonuçları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 51, 190-202, 2023.
- [9] Zhang, S., Ocloń, P., Klemeš, J. J., Michorczyk, P., Pielichowska, K., Pielichowski, K., Renewable energy systems for building heating, cooling and electricity production with thermal energy storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 165, 112560, 2022.
- [10] Kaya, H. E., Susan, A. T., Sürdürülebilir bir kentleşme yaklaşımı olarak, ekolojik planlama ve eko-kentler. *İdealkent*, 11, 30, 909-937, 2020.
- [11] Şenol, S., *İklim değişikliği ve güvenlik ilişkisi: Türkiye üzerine bir değerlendirme*. Doktora, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mart, 2024.
- [12] Gutti, B., Aji, M. M., Magaji, G., Environmental impact of natural resources exploitation in Nigeria and the way forward. *Journal of Applied technology in Environmental sanitation*, 2, 2, 95-102, 2012.
- [13] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2022, June). Decarbonising Buildings in Cities and Regions. Retrieved from <https://read.oecdilibrary.org/urban-rural-and-regional>
- [14] Thanissery, V. V. A Sustainable Approach for the Reduction of Carbon Dioxide Emissions in the Latvian Construction Industry, Master's Thesis, 2023.
- [15] United Nations Environment Programme (UNEP). (2020). 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi. p. 4.
- [16] Özbalta, T. G. *Yaklaşık Sıfır Enerji Yerleşimler*, ISUEP2018 Uluslararası Kentleşme ve Çevre Sorunları Sempozyumu, Eskişehir, 56, 2018.
- [17] Maduta, C., D'Agostino, D., Tsemekidi-Tzeiranaki, S., Castellazzi, L., From Nearly Zero-Energy Buildings (NZEBs) to Zero-Emission Buildings (ZEBs): Current status and future perspectives. *Energy and Buildings*, 115133, 2024.
- [18] Omrany, H., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Raahemifar, K., Tookey, J., Application of passive wall systems for improving the energy efficiency in buildings: A comprehensive review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 62, 1252-1269, 2016.
- [19] Mata, É., Korpál, A. K., Cheng, S. H., Navarro, J. J., Filippidou, F., Reyna, J., Wang, R., A map of roadmaps for zero and low energy and carbon buildings worldwide. *Environmental Research Letters*, 15,11, 113003, 2020.
- [20] Chen, W. H., You, F., Sustainable building climate control with renewable energy sources using nonlinear model predictive control. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112830, 2022.
- [21] Amin, M., Shah, H. H., Fareed, A. G., Khan, W. U., Chung, E., Zia, A., Lee, C., Hydrogen production through renewable and non-renewable energy processes and their impact on climate change. *International journal of hydrogen energy*, 47, 77, 33112-33134, 2022.

- [22] Omer, A. M., Energy, environment and sustainable development. Renewable and sustainable energy reviews, 12, 9, 2265-2300, 2008.
- [23] Shahsavari, A., Akbari, M., Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 90, 275-291, 2018.
- [24] Cooke, R., Cripps, A., Irwin, A., Kolokotroni, M., Alternative energy technologies in buildings: Stakeholder perceptions. Renewable Energy, 32, 14, 2320- 2333, 2007.
- [25] <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/02/20220219-2.htm> (Erişim tarihi: 15.12.2024)
- [26] Hof, A. F., Den Elzen, M. G. J., Mendoza Beltran, A. The EU 40% greenhouse gas emission reduction target by 2030 in perspective. International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics, 16, 375-392, 2016.
- [27] De Almeida, A., Fonseca, P., Schlomann, B., Feilberg, N., Characterization of the household electricity consumption in the EU, potential energy savings and specific policy recommendations. Energy and buildings, 43, 8, 1884-1894, 2011.
- [28] Utlu Z., Tekin S., *Yeşil Bina Uygulamalarında Net Sıfır Enerjili Binaların Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi*, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20, Nisan, İzmir, 2014.
- [29] Bulut H., Şahin H., Karadağ R., Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Tekno Ekonomik Analizi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 101, 23-33, 2007.
- [30] Özutku, O., Karakuş, C., *Binalarda Isı Yalıtım Yolu İle Enerji Tasarrufunun İklimlendirme Açısından İncelenmesi Ve Optimum Cam Kaplama Alanı Belirlenmesi*. Binalarda Isı Yalıtımı Yoluyla Enerji Tasarrufu Kitabı, (2018).
- [31] Yıldız, M. S., *Sıfır enerjili akıllı ev tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs, 2019.
- [32] Wessel, L., *Is the energy crisis accelerating the transition to renewable energies?*, Master's thesis, uis, 2023.
- [33] Munarriz Gistau, C. (2024). Powering Up the European Union: Addressing the Energy Security Crisis.
- [34] IRENA. (2018). Global Energy Transformation: A roadmap to 2050. International Renewable Energy Agency, Masdar.
- [35] Cesur, F., *Türkiye'de yenilenebilir enerji teknolojilerinin binalarda kullanımına yönelik model önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak, 2024.
- [36] Christopher, S., Vikram, M. P., Bakli, C., Thakur, A. K., Ma, Y., Ma, Z., Singh, P. Renewable energy potential towards attainment of net-zero energy buildings status—a critical review. Journal of Cleaner Production, 405, 136942, 2023.
- [37] Cao, X., Dai, X., Liu, J., Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. Energy and buildings, 128, 198-213, 2016.

- [38] Li, Y., Mao, Y., Wang, W., Wu, N., Net-zero energy consumption building in China: an overview of building-integrated photovoltaic case and initiative toward sustainable future development. *Buildings*, 13, 8, 2024.
- [39] Savaş, S., Gül, M., Sürdürülebilir mimari tasarım ve malzeme seçimi. *Journal of Materials Science and Engineering*, 12, 3, 109-118, 2018.
- [40] Şimşek, S., Demir, İ., Sürdürülebilir mimari tasarımın enerji performansı değerlendirme sistemleri üzerine etkisi. *Journal of Building Assessment and Performance*, 8, 2, 76-83, 2019.
- [41] Yıldız, M. E. Bayram, Ö. F., Sürdürülebilir enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji teknolojileri. *Journal of Renewable Energy and Sustainable Development*, 6, 2, 34-42, 2019.
- [42] Bayraktar, Y., Kaya, H. İ., *Kamu teşviklerinin yenilenebilir enerji yatırımları üzerine etkisi: Türkiye örneği*. ICPESS 2016 PROCEEDINGS BOOK, 429, 2016.
- [43] Kara, B., Akın, M., Sürdürülebilir mimari tasarım ve su tasarrufu. *Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 7, 1, 34-42, 2017.
- [44] <https://www.nrel.gov/docs/fy07osti/40116.pdf> (Erişim tarihi: 12.12.2024)
- [45] Ma, Z., Awan, M. B., Lu, M., Li, S., Aziz, M. S., Zhou, X., Li, Y., An Overview of Emerging and Sustainable Technologies for Increased Energy Efficiency and Carbon Emission Mitigation in Buildings. *Buildings*, 13, 10, 2658, 2023.
- [46] Toprak, M. E., Küçük, Y., Sürdürülebilir enerji kaynakları ve binaların enerji performansı. *Journal of Energy Technologies and Policy*, 6, 1, 56-63, 2018.
- [47] Zhang, T., Li, Y., Chen, Y., Feng, X., Zhu, X., Chen, Z., Sun, S., Review on space energy. *Applied Energy*, 292, 116896, 2021.
- [48] Mekhilef, S., Saidur, R., Safari, A., A review on solar energy use in industries. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15, 4, 1777-1790, 2011.
- [49] Kumar, K. R., Chaitanya, N. K., Kumar, N. S., Solar thermal energy technologies and its applications for process heating and power generation—A review. *Journal of Cleaner Production*, 282, 125296, 2021.
- [50] Chel, A., Kaushik, G., Renewable energy technologies for sustainable development of energy-efficient building. *Alexandria Engineering Journal*, 57,2, 655- 669, 2018.
- [51] Yuan, X., Wang, X., Zuo, J., Renewable energy in buildings in China-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 1-8, 2013.
- [52] <https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-yenilenebilir-enerji> (Erişim Tarihi: 17.12.2024)
- [53] Omer, A. M., Renewable building energy systems and passive human comfort solutions. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12, 6, 1562-1587, 2008.
- [54] Teschner, N. A., Alterman, R., Preparing the ground: Regulatory challenges in siting small-scale wind turbines in urban areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1660-1668, 2018.
- [55] Kwok, K. C. S., Hu, G., Wind Energy System for Buildings in an Urban Environment. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 234, 105349, 2023.
- [56] Li, Q., Ground source heat pump and its advantages. *Shanxi Architecture*, 36,19, 170-171, 2010.

- [57] Rodríguez-Monroy, C., Mármol-Acitores, G., Nilsson-Cifuentes, G. Electricity generation in Chile using non-conventional renewable energy sources–A focus on biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 937-945, 2018.
- [58] Han, B., *Studies and Recommendations on Sustainable Architecture and Energy Efficiency*. Hars Akademi, 6,1, 57-72, 2023.
- [59] <https://bepa.enerji.gov.tr/> (Erişim tarihi: 17.12.2024)
- [60] <http://ekb.gov.tr/Icerik-218-BiyokutleEnerjisi> (Erişim tarihi: 17.12.2024)
- [61] Zohuri, B., Zohuri, B., *Cryogenics and liquid hydrogen storage*. *Hydrogen energy: challenges and solutions for a cleaner future*, 121-139, 2019.
- [62] Sharifishourabi, M., Dincer, I., Mohany, A., *Development and assessment of a new solar-geothermal based integrated energy system with sonic hydrogen generation for buildings*. *Journal of Building Engineering*, 80, 107944, 2023.
- [63] <https://www.enerjiatlasi.com/hes-haritasi/turkiye> (Erişim tarihi: 16.12.2024)

FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİNDE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI

Arş. Gör. Gizem Gül KATIRCIOĞLU

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
gkatircioglu@firat.edu.tr- 0000-0003-1015-9392

Doç. Dr. Mehmet DAŞ

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
m.das@firat.edu.tr -0000-0002-4143-9226

Prof. Dr. Ebru AKPINAR

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
ebruakpinar@firat.edu.tr -0000-0003-0666-9189

ÖZET

Fotovoltaik (PV) güneş enerji sistemleri, yenilenebilir enerji üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Ancak bu sistemlerin verimli çalışması, çevresel koşullar, sistem bileşenlerinin durumları ve enerji talebindeki değişim gibi birçok faktöre bağlıdır. Yapay zeka (YZ) teknolojileri, bu karmaşık süreçlerin yönetiminde yenilikçi çözümler sunarak fotovoltaik sistemlerin performansını ve ekonomik sürdürülebilirliğini artırmaktadır.

Bu çalışmada, yapay zekanın fotovoltaik enerji sistemlerinde kullanımı incelenmiştir. Yapay zekanın avantajları, yenilenebilir enerji kaynaklarında kullanım alanları ve literatürde bu alanda yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Özellikle gerçek zamanlı veri analizi ve tahmin sistemleri, güneş enerji santrallerinin operasyonel maliyetlerini düşürmekte ve enerji üretim verimliliğini artırmaktadır.

Sonuç olarak, yapay zeka uygulamaları, PV sistemlerdeki mevcut zorlukların üstesinden gelmekte ve gelecekte daha akıllı ve özelleştirilmiş enerji sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Çalışma, sektördeki güncel gelişmeleri ve potansiyel iyileştirme alanlarını ortaya koyarak enerji teknolojilerindeki dönüşüm sürecine katkı sunmayı hedeflemektedir.

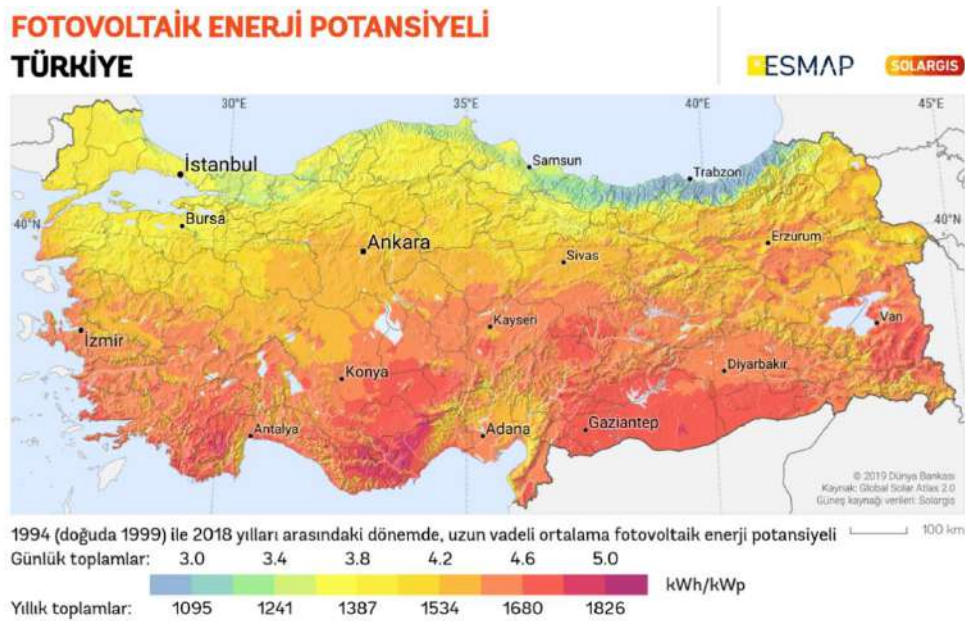
Anahtar Kelimeler: Güneş paneli, enerji, yapay zeka uygulamaları.

1. GİRİŞ

Küresel ısınma, sera gazlarının atmosferde birikmesi sonucunda meydana gelen ve dünya genelinde iklim değişikliklerine yol açan önemli bir sorundur. Bu sorunun en büyük etkenlerinden biri, fosil yakıtların kullanımınıdır. Fosil yakıtların yanması, atmosfere salınan karbondioksit ve diğer sera gazlarıyla birlikte, gezegenimizin sıcaklığını artırmaktadır [1]. Ayrıca, petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtların çıkarılması ve işlenmesi sırasında ortaya çıkan zararlı atıklar, çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta; su kaynaklarının kirlenmesine, toprak verimliliğinin azalmasına ve doğal yaşamın yok olmasına sebep olmaktadır [2].

Ülkemiz, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından son derece zengin bir potansiyele sahiptir. Özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi, Türkiye'nin enerji ihtiyacını karşılamak için büyük bir öneme sahiptir. Geografik konumumuz sayesinde, yıl boyunca ortalama 2,600 saat güneşlenme süresi ile güneş enerjisi santralleri için elverişli bir iklim sunmaktayız. Ayrıca, uzun kıyı şeridimiz ve yüksek rüzgâr potansiyelimiz, Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyelini de önemli ölçüde artırmaktadır [3,4].

Son yıllarda yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar artarak devam ederken, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli özellikle bu dönemde daha fazla keşfedilmiş ve birçok güneş enerjisi santrali devreye alınmıştır [5]. Rüzgâr enerjisi alanında da benzer bir durum söz konusu. Türkiye'nin yüksek rüzgâr enerjisi potansiyeli, pek çok rüzgâr enerjisi santralının kurulmasına olanak tanımıştır [5]. Türkiye'nin fotovoltaik enerji potansiyeli haritası Görsel 1.'de verilmiştir.



Görsel 1. Türkiye fotovoltaik enerji potansiyeli haritası [6]

Bilinen en büyük enerji kaynağı güneştir. Çünkü tüm canlıların temel yaşam kaynağı olmasının yanı sıra, diğer enerji kaynaklarının da temelini oluşturur [7]. Güneş enerjisi, yenilenebilir ve sınırsız bir kaynağa sahip olmasıyla dikkat çeker. Günümüzde enerji ihtiyacının sürekli artması, bu ihtiyacın karşılanabilmesi için fosil yakıtlar ve çevreye zarar veren enerji kaynakları yerine daha zararsız ve verimli alternatifler arayışını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır [8,9].

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidroelektrik santralleri, güneş enerjisi santralleri ve rüzgar enerjisi santralleri öne çıkmaktadır. Güneş enerjisi santralleri, güneş panelleri üzerinde yer alan özel hücreler aracılığıyla çalışır. Bu hücreler, güneş ışınlarını elektrığe dönüştürerek enerji üretme sürecinin temelini oluşturur. Birden fazla güneş panelinin bir araya gelmesiyle oluşturulan diziler, bu süreçte akım ve gerilim elde edilmesini sağlar. Elde edilen doğru akım (DC) elektrik enerjisi ise, maksimum güç noktası takibi yapan eviriciler sayesinde alternatif akıma (AC) dönüştürülmektedir. Ülkemizde güneşlenme sürelerinin oldukça yüksek olması, fotovoltaik sistemlere yönelik yatırımların artmasına ve güneş enerjisi santrallerinin kurulumu için çok sayıda projeye yönelmesine zemin hazırlamaktadır [10-12].

Yapay zekâ teknolojisi, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkili bir şekilde kullanılmasına yardımcı olacak birçok uygulamayı mümkün kılmaktadır. Örneğin, rüzgâr enerjisi santrallerinin verimliliğini artırmak için yapay zekâ algoritmaları kullanılabilir. Bu algoritmalar, rüzgâr hızı, yönü ve diğer çevresel faktörleri analiz ederek, rüzgâr türbinlerinin çalışma hızını ve açısını otomatik olarak ayarlayarak daha yüksek verimlilik elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, güneş enerjisi santrallerinin bakımı ve performans analizi gibi alanlarda da yapay zekâ teknolojileri kullanılabilir. Bu sayede, sistemlerin verimliliği artırılabilir ve arıza tespiti daha hızlı bir şekilde yapılabilir [13].

Bu çalışmada Güneş enerji panellerinde uygulanan yapay zeka teknolojileri ele alınmıştır.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, temiz ve yenilenebilir olmasının yanı sıra sınırsız ve evrensel bir kaynak olma özelliği taşır. Güneşin yüzeyindeki enerji, dünya üzerindeki ihtiyaçları karşılamak için fazlasıyla yeterlidir ve aynı zamanda uzay araçları ve uydular gibi uzay uçuşlarında da kullanılabilen bir enerji kaynağıdır. Ayrıca, güneş enerjisi, fosil yakıtlar gibi çevre kirliliğine yol açmayan ve iklim değişikliği ile mücadelede etkili bir çözüm sunan temiz bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinin pek çok farklı kullanım alanı vardır (Görsel 2) [14,15].



Görsel 2. Güneş enerjisi kullanım alanları [14,15]

2.1. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi

Güneş enerjisi, güneş ışığı ve ısıdan elde edilen enerjilerle elektrik üretmektedir. Bu işlem, güneş panellerinde bulunan fotovoltaik (PV) hücreleri aracılığıyla gerçekleşir. Fotovoltaik hücreler, ince silikon katmanlarının bir araya gelmesiyle oluşan bir yapıya sahiptir. Güneş ışığı, bu hücrelerin yüzeyine vurduğunda, hücrelerdeki yarı iletken malzemelerdeki elektronların hareketlenmesine yol açar. Bu hareketlenme, elektronların bir akım oluşturmaya neden olur ve bu akım, bir tel bağlantısı aracılığıyla bir aküye veya güç invertörüne yönlendirilir [16].

Güç invertörleri, DC (doğru akım) elektrik akımını AC (alternatif akım) elektrik akımına dönüştürerek, bu enerjiyi evlerde ve işletmelerde kullanım için ağı entegre eder. Güneş enerjisi sistemleri, enerji ihtiyaçlarına bağlı olarak çeşitli boyutlarda kurulabilmektedir [17]. Küçük ev sistemleri birkaç güneş panelinden oluşabilecekken, büyük ölçekli ticari güneş enerjisi santralleri binlerce panelden meydana gelebilir [18].

3. YAPAY ZEKA

Yapay zeka (YZ), bilgisayar sistemlerinin veya makinelerin insan zekasına benzer bir şekilde düşünmesini, öğrenmesini ve karar vermesini sağlayan bir bilim dalıdır. YZ, verileri analiz ederek çıkarımlar yapabilir, problemleri çözebilir, kararlar alabilir ve hatta yeni bilgiler edinebilir. Bu özellikleri, yapay zekanın birçok alanda, özellikle işletmeler, tıp, otomotiv, hizmet sektörü ve diğer endüstrilerde kullanılmasını mümkün kılmaktadır [19].

Yapay zekâ teknolojileri, veri madenciliği, makine öğrenimi ve doğal dil işleme gibi çeşitli disiplinleri kapsamaktadır. Veri madenciliği, büyük veri setlerinden anlamlı bilgileri ortaya

çıkarmaya yönelik bir tekniktir. Makine öğrenimi ise bilgisayarların farklı veri kaynaklarından öğrenme yeteneğini ifade eder. Doğal dil işleme ise insan dilini anlamak ve üretmek için geliştirilmiş bir teknolojidir [20].

Yapay zeka uygulamaları, görüntü ve ses tanıma, otonom araçlar, öngörülebilir bakım, konuşma tanıma, öğrenen robotlar ve tıbbi teşhis gibi birçok alanda geniş bir yelpazede yer almaktadır. Bu uygulamalar, yapay zekanın potansiyelini net bir şekilde sergilemekte ve gelecekte bu teknolojilerin kullanım alanlarının hızla artacağı öngörülmektedir. Yapay zeka teknolojilerinin gelişimi, insan benzeri akıllı sistemlerin üretilmesini mümkün hale getirirken, bu durum birçok sektörde iş süreçlerini daha verimli, hızlı ve hatasız bir şekilde gerçekleştirme imkânı sunmaktadır. Ancak, yapay zeka teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması esnasında etik, gizlilik ve güvenlik gibi konulara titizlikle dikkat edilmesi gerektiği de son derece önemlidir.

3.2. Güneş Enerjisinde Yapay Zekâ Kullanımının Avantajları

Yapay zekâ, güneş enerjisi sistemlerinin daha verimli ve etkili hale getirilmesine yardımcı olabilir. Güneş enerjisi için yapay zekâ kullanımının örnekleri Çizelge 1’ de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Güneş Enerjisi Yapay Zeka Kullanımı

Kullanım alanı	Yapay zeka kullanımı
Veri analizi ve tahmini	Güneş enerjisi sistemleri, doğrudan güneş ışığına dayanır. Bununla birlikte, yapay zeka, güneş ışığı tahminleri yaparak enerji üretimini optimize etme sürecinde önemli bir rol oynayabilir. Ayrıca, bu sistemlerin performansını izlemek için verileri analiz ederek olası sorunları da tespit edebilir.
Sistem kontrolü	Güneş enerjisi sistemlerinin kontrolü ve optimizasyonunda yapay zeka önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, yapay zeka, panel açılarının ve konumlarının otomatik olarak ayarlanmasını sağlayarak maksimum enerji verimliliğini elde etmektedir.
Bakım ve onarım	Güneş enerjisi sistemleri, doğal olarak hava koşullarının etkisine maruz kalmaktadır ve bu nedenle düzenli bakım gerektirir. Yapay zeka, bu sistemlerin bakım ve onarım zamanlamalarını tahmin edebilir, arızaları tespit edebilir ve hatta bazı durumlarda onarımları uzaktan kontrol etme yeteneğine sahiptir.
Enerji yönetimi	Güneş enerjisi sistemleri, enerji yönetimi için kullanılabilir. Yapay zekâ, enerji kullanımını izleyebilir ve enerji talebinin zamanlamasına göre güneş enerjisi sistemi ile bağlantılı diğer enerji kaynaklarını yönetebilmektedir.

Güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini ve ekonomik etkinliğini artırmak amacıyla yapay zekâ kullanımı büyük bir potansiyele sahiptir. Aynı zamanda, bu teknolojinin uygulanması, güneş enerjisi sistemlerinin güvenliği açısından da kritik bir önem taşır. Güvenlik önlemlerinin alınması ve sistemlerin korunması, yapay zekânın etkili bir şekilde entegre edilmesi için gereklidir [21].

3.3. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarında Yapay Zekâ Kullanımı

Yenilenebilir enerji kaynaklarının verimliliğini artırmak ve daha sürdürülebilir bir enerji sistemi oluşturmak amacıyla yapay zeka, çeşitli alanlarda etkili bir şekilde kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yaygın olanlardan biridir. Yapay zekâ, bu alanda güneş enerjisi panellerinin verimliliğini artırmak için kullanılmaktadır. Örneğin, yapay zekâ, güneş panellerinin en uygun açı ve konumunu belirleyerek; bulutlu havalarda veya gün içindeki değişen ışık koşullarında panellerin enerji çıkışını optimize edebilir. Ayrıca, yapay zekâ destekli güneş takip sistemleri sayesinde, güneş panelleri sürekli olarak güneş ışığına en uygun pozisyonu alarak hareket edebilir[22].

4. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİSİ (MPPT)

Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MPPT), güneş panellerinden elektrik üretiminde hayati bir rol oynayan önemli bir teknolojidir. Bu sistem, coğrafi şartlar, güneşin konumu, hava durumu ve çevresel koşullara bağlı olarak üretilen elektrik enerjisinde maksimum verimliliği sağlamaya yardımcı olur.

Fotovoltaik sistemlerin yüksek maliyetleri, sıcaklık, güneşlenme süresi ve gölgelenme gibi sürekli değişen koşullar nedeniyle verim açısından bazı dezavantajlar doğurabilir. Üretilen fotovoltaik paneller, %100 verimlilikte değildir. Ancak, bu panellerin verimlerinin ideal seviyede olmaması, mevcut değişken koşullarda maksimum verim elde etme çabalarını engellemez.

Bir fotovoltaik (PV) sistemin çıkışındaki güç değerinin en yüksek olduğu nokta, gerilim ve akım grafiğinde maksimum güç noktası (MPP) olarak tanımlanır. PV panelleri, bu maksimum güç noktasında en verimli enerji çıkışını sağlar. MPP’de çalışmayı sürdürebilmek için, maksimum güç takip (MPPT) sistemleri geliştirilmiştir.

Bu dezavantajların en aza indirilmesi, çevresel etkiyle uyumlu bir şekilde çalışmaya bağlı olduğundan, maksimum güç elde etmek amacıyla MPPT sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler, bir dönüştürücü ve bir denetleyici bileşenlerinden oluşmaktadır.

MPPT sistemlerinde, karar verme süreçlerini yöneten algoritmalar kullanılmaktadır. Bu algoritmalar, fotovoltaik (PV) sistemlerin sürekli olarak maksimum güç noktasında (MPP) çalışmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Algoritmalar, panel akımı, gerilimi, ışıyım miktarı ve sıcaklık gibi değerleri sensörler aracılığıyla toplar ve bu verileri kullanarak optimizasyon gerçekleştirir.

Güneş panellerinin verimlerini artırmak amacıyla çeşitli MPPT (Maksimum Güç Noktası İzleme) algoritmaları bulunmaktadır. Bu algoritmalar iki ana kategoriye ayrılabilir: geleneksel MPPT algoritmaları ve zeki MPPT algoritmaları. Geleneksel yöntemler arasında, Perturb and Observe (PandO), Incremental Conductance (Artan İletkenlik) ve Hill Climbing (Tepe Tırmanışı) gibi teknikler ile açık devre ve kısa devre yöntemleri yer alır. Öte yandan, zeki MPPT algoritmaları Yapay Sinir Ağları (YSA), Bulanık Mantık ve Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) gibi modern yöntemleri kapsamaktadır.

MPPT sistemlerinde verim ölçümü için Avrupa Standardı olan EN 50530 geliştirilmiştir. Bu standart, kullanılan MPPT yöntemleri aracılığıyla tüm sistemin dinamik çevre koşulları altındaki performansını belirlemektedir. Ayrıca, MPPT algoritmalarının verimliliği de bu standart doğrultusunda değerlendirilmektedir.

Gelişen teknoloji sayesinde, PV paneller toplam elektrik enerjisi üretimindeki paylarını artırmaktadır. Bu artışla birlikte, operasyonel güç panellerinin çeşitliliği ve verimliliği daha da önem kazanmaktadır [23].

Fotovoltaik Güneş enerji panelleri ve yapay zeka uygulamaları ile ilgili yapılmış olan literatür çalışmaları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Nakir ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Güneş Takip Sistemi (GTS), tek eksen ve çift eksen güneş takibi yaparak güneşin PV panele göre konumunu tespit etmekte ve panelleri bu yönde hareket ettirmektedir. Böylece, güneşten maksimum verim elde edilmesi hedeflenmiştir. Maksimum Güç Takip Sistemi (MGTS), panel üzerine düşen ışınım seviyesini en üst düzeye çıkararak panelden elde edilebilecek maksimum gücün yük veya depolama sistemine aktarılmasını hedefleyen önemli bir sistemdir. Bu sistem, panellerden alınan verimliliği artırmada kritik bir rol oynamaktadır [24]. Özer ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks, ANN) ve k-en yakın komşu (k-NN) yöntemleriyle PV sistemlerde güç üretimini tahmin etmeyi amaçlamıştır. Ortam sıcaklığı, nem ve güneş ışınımı gibi çevresel veriler kullanılarak %98,79'a varan doğrulukla sonuçlar elde edilmiştir. Bu, makine öğrenimi yöntemlerinin PV sistem verimliliğini artırmadaki potansiyelini ortaya koymaktadır [25]. Akal ve ekibi tarafından yapılan bu çalışmada, yapay sinir ağları ve K-en yakın komşu (KNN) yöntemleri kullanılarak fotovoltaik panellerin güç üretimi tahmin edilmiştir. Gerçek saha verileriyle yapılan testlerde, yapay sinir ağı modelinin %98,79 doğruluk oranıyla en başarılı sonuçları verdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışma, yapay zeka yöntemlerinin güneş enerjisi tahminindeki etkinliğini göstermektedir [26]. Özkan

tarafından yapılan çalışmada tasarlanan güç dönüştürücü sistemi, tüketicinin fotovoltaik (PV) enerji üretimi ve tüketimi bilgilerini bir veri tabanında kaydederek, kaydedilen bu verilere dayanarak gelecekteki PV üretim ve tüketim profilini gün ay ve mevsim bazında tahmin edebilme yeteneğine sahiptir. Çalışmanın sonunda geliştirilen sistem, enerjinin verimli şekilde kullanılmasına olanak tanımakla birlikte tüketicilere düşük karbon ayak izi sağlar ve böylece yeşil bina uygulamalarında kullanılabilir [27]. Sevdin tarafından yapılan çalışmada, sistemin kurulurken oluşturduğu maliyeti minimuma indirmek için yapay sinir ağları yardımıyla pv paneller ve rüzgar türbinleri kurulmadan önce, kurulacakları bölgeyi simüle ederek sistemin maksimum verim alacağı konuma kurulmasını amaçlanmaktadır. Yapılan deneyler Çorlu iklim şartlarında yapılmış olup gerçek değerler alınmıştır. Alınan bu değerler ile simülasyon yapılmış ve yapılan simülasyon sayesinde hangi konumda daha çok verim alınacağı, sistem kurulumunun ne kadar mümkün olduğu gibi durumlar önceden öngörülebilmektedir [28]. Temel tarafından yapılan bu çalışmada PV panellerin verimlerinin artırılması amacıyla MATLAB/SIMULINK'te öğrenilen veriler yine MATLAB/SIMULINK'te simüle edilip çalıştırılarak verim karşılaştırması yapılmıştır. Bu çalışma ile PV sistemlerde derin öğrenme yöntemleri kullanılarak tasarlanan yapay zeka tabanlı MPPT sistemlerinin klasik MPPT algoritmalarına göre daha yüksek verim sağladığı ve gelecekteki araştırmalara yol gösterebileceğini ortaya koymayı amaçlamaktadır [29].

4. SONUÇ

Yapay zeka (YZ) teknolojileri, fotovoltaik (FV) güneş panelleri için çok çeşitli çalışmalarda kullanılarak çeşitli sorunlara çözümler sunmuş ve FV sistemlerin performansını önemli ölçüde iyileştirmiştir.

Elde Edilen Sonuçlar

- Enerji Verimliliğinin Artırılması:** Yapay zeka algoritmaları, FV panellerin enerji üretim kapasitesini maksimize etmek için kullanılmış ve enerji kayıplarını azaltacak çözümler sunmuştur. Örneğin, hava koşullarına adapte olan akıllı güneş takip sistemleri, enerji üretiminde %30'a kadar artış sağlamıştır.
- Tahmin Doğruluğunun Yükseltilmesi:** YZ tabanlı modeller, FV sistemlerin enerji üretim tahmininde %95'in üzerinde doğruluk sağlayarak hem güç çıkışının hem de enerji taleplerinin öngörülmesinde etkinlik göstermiştir.
- Arıza Tespitinde Yüksek Performans:** Konvolüsyonel sinir ağları (CNN) gibi YZ modelleri, fotovoltaik panellerde mikro çatlak, kirlenme veya tozlanma gibi sorunları

tespit etmede %95'in üzerinde başarı göstermiştir. Bu da arıza kaynaklı enerji kayıplarının azalmasına katkı sağlamıştır.

4. **Bakım Maliyetlerinin Azaltılması:** YZ tabanlı arıza tespit sistemleri, fotovoltaiik panellerin durumunu izleyerek ve anormallikleri belirleyerek zamana dayalı bakım yerine ihtiyaca dayalı bakım stratejileri sunmuştur. Bu sayede bakım maliyetlerinde önemli tasarruf sağlanmıştır.

Çözüm Bulunan Sorunlar

1. Enerji Kayıpları:

- Kirlenme ve tozlanma gibi fiziksel sorunların enerji kaybına neden olduğu durumlarda, YZ modelleri bu sorunları tespit ederek önlem alınmasını sağlamıştır.

2. Tahmin ve Planlama Zorlukları:

- Geleneksel yöntemlerle doğru öngörüler yapmak zordur. YZ, çevresel parametreleri (rüzgar hızı, sıcaklık, gökyüzü koşulları gibi) analiz ederek doğru tahminler yapmıştır.

3. Maliyet ve Verimlilik Dengesizliği:

- Panellerin optimum çalışma koşullarında olmadığı zamanlarda enerji kaybı artmaktadır. YZ, gün boyu dinamik izleme ve optimizasyon yaparak bu sorunlara çözüm sunmuştur.

Modellenen Parametreler

YZ ile FV sistemlerde modellenen temel parametreler şunlardır:

- **Solar Işınımı:** Panelin maruz kaldığı güneş enerjisi miktarı.
- **Panel Sıcaklığı:** FV panellerin çalışma sıcaklığı, verimlilik üzerinde etkili bir faktördür.
- **Hava Koşulları:** Rüzgar hızı, nem, bulutluluk ve atmosferik toz miktarı gibi koşullar enerji üretimini etkiler.
- **Elektriksel Performans:** Akım, gerilim ve çıkış gücü gibi elektriksel parametreler.
- **Fiziksel Deformasyon:** Mikro çatlaklar, çerçeve bozulmaları veya malzeme eskimesi.

Genel Değerlendirme

Yapay zeka, fotovoltaiik güneş panellerinin performansını artırmak, maliyetleri düşürmek ve sürdürülebilir enerji sistemlerini daha etkili hale getirmek için çok yönlü bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Enerji verimliliği, tahmin doğruluğu ve maliyet optimizasyonu gibi çok kritik

alanlarda somut iyileşmeler sağlanmış, FV sistemlerin yenilenebilir enerji kaynakları içindeki stratejik önemi daha da artmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Adedeji, O., Reuben, O., Olatoye, O., Global climate change. Journal of Geoscience and Environment Protection, 2(2), 114-122, 2014.
- [2] Lal, R. ,Climate change and soil degradation mitigation by sustainable management of soils and other natural resources, Agricultural Research, 1, 199-212, 2012.
- [3] Ertürk, O., Ertürk, A. E. Türkiye'de Yenilebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Üretimi Ve Cari Açık Üzerindeki Etkisi. In International Conference on Economic and Social Impacts of Globalization and Future of Turkey-EU Relations (pp. 103-113), 2018.
- [4] Bilim, N., TÜRKİYE’NİN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNDEKİ DIŞA BAĞIMLILIĞIN AZALTILMASI İÇİN UYGULANMASI GEREKEN POLİTİKALAR, Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(2), 145-154, 2016.
- [5] Torunoğlu Gedik, Ö. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları ve çevresel etkileri, 2015.
- [6] <https://solargis.com/resources/free-maps-and-gis-data?locality=turkey> (Erişim tarihi: 16.12.2024)
- [7] Şahin, Ö. Türkiyede Enerji Kaynakları ve Yenilenebilir Enerji ,2022.
- [8] Holechek, J. L., Geli, H. M., Sawalhah, M. N., Valdez, R., A global assessment: can renewable energy replace fossil fuels by 2050?. Sustainability, 14(8), 4792, 2022.
- [9] Wang, J., Azam, W. , Natural resource scarcity, fossil fuel energy consumption, and total greenhouse gas emissions in top emitting countries. Geoscience Frontiers, 15(2), 101757, 2024.
- [10] Rahman, A., Farrok, O., Haque, M. M., Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 161, 112279, 2022.

- [11] Sebestyén, V., Renewable and Sustainable Energy Reviews: Environmental impact networks of renewable energy power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111626, 2021.
- [12] Strielkowski, W., Civin, L., Tarkhanova, E., Tvaronavičienė, M., Petrenko, Y., Renewable energy in the sustainable development of electrical power sector: A review. *Energies*, 14(24), 8240, 2021.
- [13] Ahmad, T., Zhang, D., Huang, C., Zhang, H., Dai, N., Song, Y., Chen, H., Artificial intelligence in sustainable energy industry: Status Quo, challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125834, 2021.
- [14] Joon, R. Renewable energy sources: a review. In *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1979, No. 1, p. 012023, IOP Publishing, 2021.
- [15] Jaiswal, K. K., Chowdhury, C. R., Yadav, D., Verma, R., Dutta, S., Jaiswal, K. S., Karuppasamy, K. S. K., Renewable and sustainable clean energy development and impact on social, economic, and environmental health. *Energy Nexus*, 7, 100118, 2022.
- [16] Kalogirou, S. A., *Solar energy engineering: processes and systems*. Elsevier, 2023.
- [17] Ollas, P., Energy savings using a direct-current distribution network in a pv and battery equipped residential building ,Master's thesis, Universidade Tecnica de Lisboa Portugal, 2020.
- [18] Ghezelayagh, M., *Protection Control Systems of Solar Power Plants:(Small, Medium , Large): Solar Energy, Solar Power Plants, Protection and Control Systems, Guidelines/Standards, PV systems fault finding, PV systems testings, Disturbances/Fire incident*. Dr. Maty Ghezelayagh, 2021.
- [19] Korteling, J. H., van de Boer-Visschedijk, G. C., Blankendaal, R. A., Boonekamp, R. C., Eikelboom, A. R., Human-versus artificial intelligence. *Frontiers in artificial intelligence*, 4, 622364, 2021.
- [20] Dong, Y., Hou, J., Zhang, N., Zhang, M., Research on how human intelligence, consciousness, and cognitive computing affect the development of artificial intelligence. *Complexity*, 2020(1), 1680845, 2020.
- [21] Xu, Y., Liu, X., Cao, X., Huang, C., Liu, E., Qian, S., ..Zhang, J. ,Artificial intelligence: A powerful paradigm for scientific research. *The Innovation*, 2(4), 2021.
- [22] Sevdim, R. E. ,Yenilenebilir enerji kaynaklarının hibrit kullanımını yapay zeka ile modellemesi ,Master's thesis, İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.

- [23] N. Kumar, I. Hussain, B. Singh ve BK Panigrahi, "Kendinden Tahminli Bozma ve Gözlem Algoritması Kullanılarak Güneş PV Panelinden Maksimum Güç Çıkarımının Çerçevesi", IEEE Sürdürülebilir Enerji İşlemleri'nde , cilt 9, sayı 2, ss. 895-903, 2018.
- [24] Nakir, İ. Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS Ve MGTS Kullanarak Verimliliğin Arttırılması. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,2007.
- [25] Özer, D., , Aksoy, B. YAPAY ZEKÂ UYGULAMASI İLE GÜNEŞ PANELİ SİSTEMİ ENERJİ ÜRETİMİ TAHMİNİ. Yalvaç Akademi Dergisi, 9(2), 138-151,2024.
- [26] Akal, D., Umut, İ. , Fotovoltaik Panellerde Güç Tahminlenmesi için Yapay Zekâ Yöntemlerinin Kullanılması. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 19(2), 435-445, 2022.
- [27] Özkan, E. Bulanık Mantık Tabanlı Yapay Zekâ Fotovoltaik Güç Dönüştürücü Sistem Tasarımı. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 13(2), 456-482,2023.
- [28] Sevdim, R. E., Yenilenebilir enerji kaynaklarının hibrit kullanımını yapay zeka ile modellemesi (Master's thesis, İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), 2018.
- [29] Temel, H. İ. , Yapay zeka temelli maksimum güç noktası takibi (Master's thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü), 2021.

ANIZ YANGINININ KÜRESEL ISINMAYA ETKİSİ

Prof. Dr. Mehmet Ali KIRPIK³

Kafkas Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Kars-Türkiye

Orcid: 0000-0003-0156-8127,

mhmtalikrpk@gmail.com

ÖZET

Ekimi veya tarımı yapılan tüm kültür bitkilerinin ve özellikle de buğdaygiller ile mısır bitkisinin hasat edilmesinden sonra toprakta kalan kısımlarına ANIZ denir. Toprağın hasattan hemen sonra bir sonraki ürünü ekmek için yeniden kullanılmasına bağlı olarak anız bir yerde toplanarak veya arazi üzerindeki kalan kısmı toplanmadan çiftçiler tarafından yakılmaktadır. Anız yakmadaki esas amaç, hasadın hemen peşine toprak işlenip yeni bir ürün ekilebilmesi için arazinin işlenmesinde ve yeni ekilen tohumun çimlenmesindeki güçlüklerden dolayı anız yakılmaktadır. Bütün canlıların yapı taşları hücredir. En basit yapılı canlıdan en gelişmiş yapılı canlıya kadar bütün canlıların vücutları bir hücreden veya çok sayıda hücreden meydana gelir. Bir hücrenin yapısında temel olarak C,H,O ve N elementleri bulunur ve bu elementler hücreyi oluşturan biyomoleküllerin temel yapısını oluşturur. Bitkilerin tamamında bu biyomoleküllerden ve hücrelerden meydana gelir.

Doğal madde döngüsü ile topraktan alınan bu maddelerin tekrar toprağa verilmesi gerekir. Ancak anız olarak adlandırılan bitkinin bu kısmı yakıldığı için doğadan alınan bu maddelerin yanarak kül olmasına ve doğaya tekrar verilmesinin engellenmesine neden olur. Yanma tamamen bir kimyasal reaksiyon olup geri dönüşümü yoktur. Yani anız yangını ile yanan materyaller geri dönüştürülemez ve doğaya kazandırılmaz olduğu için sürekli olarak doğal kaynakların azalmasına neden olur. Anız yangını beraberinde birçok olumsuzluğu da beraberinde getirir. Yanma ile oluşan yüksek ısı toprak yüzeyinin ve belli derinliğe kadar olan kısmının ısınmasına neden olur. Bu ısınma toprağın yapısını bozarak birçok mineralin yok olmasına ve bozulmasına neden olduğu gibi toprakta çok önemli görevleri olan mikro flora ve faunanın da yok olmasına neden olur. Ayrıca doğal yaşamdaki birçok omurgalı ve omurgasız

³ Prof. Dr. Mehmet Ali KIRPIK
Kafkas Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Kars-Türkiye
Orcid: [0000-0003-0156-8127](https://orcid.org/0000-0003-0156-8127),
mhmtalikrpk@gmail.com

hayvanın telef olmasına neden olur. Anız yangınının en önemli olumsuz etkilerinden biri ise CO ve CO₂'den oluşan duman atmosferde sera gazlarının fazlalaşmasına neden olur. Sera gazlarının atmosferde aşırı derecede birikmesi sonucu dünyamızda son zamanlarda sıkça doğal afetler yaşanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Anız, Anız yangını, Doğal Denge, Küresel Isınma, Fauna, Flora.

1. GİRİŞ

Ekimi veya tarımı yapılan tüm kültür bitkilerinin ve özellikle de buğdaygiller ile mısır bitkisinin hasat edilmesinden sonra toprakta kalan kısımlarına ANIZ denir. Toprağın hasattan hemen sonra bir sonraki ürünü ekmek için yeniden kullanılmasına bağlı olarak anız bir yerde toplanarak veya arazi üzerindeki kalan kısmı toplanmadan çiftçiler tarafından yakılmaktadır. Ülkemizin çoğu yerinde olduğu gibi Güney Doğu ve Doğu Anadolu bölgesinde de buğday hasadından sonra buğdayın toprakta kalan kısmının parçalanamamasından dolayı, çiftçilerin bilinçsizce anızı yakmak zorunda kaldıkları belirtilmiştir (Gürsoy, 20129).

Anız yakmadaki esas amaç hasadın hemen peşine toprak işlenip yeni bir ürün ekilmesi durumunda arazinin işlenmesinde ve yeni tohumun çimlenmesinde, anız zorluklara neden olduğu için yakılmaktadır. Bütün canlıların yapı taşları hücredir. En basit yapılı canlıdan en gelişmiş yapılı canlıya kadar bütün canlıların vücutları bir hücreden veya çok sayıda hücreden meydana gelir. Bir hücrenin yapısında temel olarak C,H,O ve N elementleri bulunur ve bu elementler hücreyi oluşturan biyomoleküllerin temel yapısını oluşturur. Bitki ve hayvanların tamamı da bu biyomoleküllerden ve hücrelerden meydana gelir (Kırpık ve ark., 2022).

Doğal madde döngüsü ile topraktan alınan bu maddelerin tekrar toprağa verilmesi gerekir. Ancak anız olarak adlandırılan bitkinin bu kısmı yakıldığı için doğadan alınan bu maddelerin yanarak kül olmasına ve doğaya tekrar verilmesinin engellenmesine neden olur (Temel, 2012).

Yanma tamamen bir kimyasal olup geri dönüşümü yoktur. Yani anız yangını ile yanan materyaller geri dönüştürülemez ve doğaya kazandırılmaz olduğu için sürekli olarak doğal kaynakların azalmasına neden olur. Anız yangını beraberinde birçok olumsuzluğu da beraberinde getirir.

Yanma ile oluşan yüksek ısı toprak yüzeyinin ve belli derinliğe kadar olan kısmının ısınmasına neden olur. Bu ısınma toprağın yapısını bozarak birçok mineralin yok olmasına ve bozulmasına neden olduğu gibi toprakta çok önemli görevleri olan mikro flora ve faunanın da yok olmasına

neden olduğu bilinmektedir. Yüksek ısı toprağın ısınan kısımdaki neminin de atmosfere karışmasına neden olarak toprağın kurummasına neden olur ve ayrıca doğal yaşamdaki birçok omurgalı ve omurgasız hayvanın telef olmasına neden olur.

Hem çevreye hem de toprağın yapısına ciddi zararlar verdiği için anız yangınının hiç tavsiye edilmediği belirtilmektedir (Cerit ve ark., 2002).

Anız yangınının en önemli olumsuz etkilerinden biri ise CO ve CO₂'den oluşan duman atmosferde sera gazlarının fazlalaşmasına neden olur. Sera gazlarının atmosferde aşırı derecede birikmesi sonucu dünyamızda son zamanlarda sıkça doğal afetler yaşanmaktadır. Anız yakma ile toprakta C tutulumunun azaldığı ve atmosferik C miktarının arttığı belirtilmekte olup anızın parçalanmasıyla hem toprağı bir arada tutulmasını ve organik maddelerde C'un tutulmasını sağlamakta olduğu belirtilmiştir (Rastogi ve ark., 2002).

2. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

2.1. Anız ve Anız Yakma

Bitkilerin ve hayvanların Kimyasal Yapısı: canlılığın temel birimine hücre denir. Yani canlılar ya tek bir hücreden ya da çok sayıda hücreden oluşur. Buna bağlı olarak canlıları tek hücreli canlılar ve çok hücreli canlılar olarak iki büyük gruba ayırabiliriz. Gerek hayvanlarda gerek se bitkilerde hem tek hücreden oluşan hem de çok sayıda hücreden oluşan toplam 3,5 milyon tür bulunmaktadır. İster hayvan ister bitki olsun hepsinin temel yapı taşı hücre olup tüm hücrelerin yapısı yaklaşık olarak birbirine benzer. Bunlardan bitki hücreleri birbirlerine ve hayvan hücreleri de birbirlerine daha çok benzerler. Bitki hücrelerinin yapısında çok sayıda kimyasal madde bulunur. Ancak bu kimyasal maddeler arasında olmaz ise olmaz olan 4 temel kimyasal element var ki bunlar C (Karbon), H (Hidrojen), O (Oksijen) ve N (Azot)'tur. Canlılığın ve canlılığın temel taşı olan hücrenin ana çatısını ve yapısını oluşturan bu elementlerin doğada bulunma oranlarına bakıldığında C yerkabuğunun %0.2, H %90, O %21 ve N %78'ni oluşturur (Demirsoy, 1991).

Yeşil yapraklı bitkiler güneş ışığında bu temel maddeleri kullanarak fotosentez yaparlar. Fotosentez her soluk alıp verdiğimizde kullandığımız hava içindeki oksijeni ve besin olarak günlük tükettiğimiz gıdaları oluşturur. Bitkiler güneş ışığında oksijen ve besin üretirken bu 4 temel kimyasal elemente mutlak ihtiyaç duyarlar. Bitkiler su, karbon (C), hidrojen (H), ve azotu (N) kökleriyle topraktan alırken, O₂ ve CO₂'i de yapraklarıyla atmosferden alarak solunum ve fotosentez yaparlar. Ülkemizin hemen hemen her yerinde ürün hasatları yapıldıktan sonra

ürünlerin arazide kalan kısmı ANIZ olarak adlandırılmaktadır. Bilinçli ya da bilinçsizce bunların yakılmasına da ANIZ yakma adı verilir. Yakma ile ekilecek alanın daha temiz ve toprağın işlenmesinin daha kolay olması amaçlanmaktadır. Bu amaçla hasattan arta kalan kısımlar ve döküntüler toplanarak yakılmaktadır. Bir yıl içerisinde birden fazla ürün yetiştirmek için yapılan bu işlem Çukurova’da daha fazla olmaktadır. Anız yangınlarının yaklaşık %88’nin tamamen bireysel nedenlerden dolayı meydana geldiği, anız yangınının %76 oranında tüm canlılara zarar verdiği ve çiftçilerin %71’nin ise üretimde yaşanan verim kaybından dolayı ekonomik kayba uğradıkları belirtilmiştir (Gülistan ve ark., 2016). Anız yangınlarının tamamının bireysel nedenlerden kaynaklanmadığı, iş makinalarından çıkan kıvılcımlardan, kontrolsüz olarak yakılan ve bırakılan ateşten ve sigara izmaritlerinden çıktığı belirtilmektedir (Bulut, 2005).

Yakma ve yanma kimyasal bir reaksiyon olup geriye dönüşü yoktur. Yani hasattan geriye kalan bitki parçalarının yanmasıyla, yapılarındaki C,H,O ve N ile daha birçok element kül olmakta ve doğadaki miktarları azalmaktadır. Şayet yakma yerine bitki atıkları toprağa karıştırılır ise topraktan alınan bu elementler tekrar toprağa kazandırılacak ve topraktaki bu elementlerin miktarları sabit kalacaktır. Yani bu bitkisel atıklar toprağa karıştırıldığında toprakta bulunan çürükçül ve ayrıştırıcı canlılar tarafından en küçük yapılarına kadar parçalanıp toprağa kazandırılacaktır. Böylece bitkiler topraktan aldığı tekrar toprağa vermiş olacak ve topraktaki madde miktarı korunmuş olacaktır.

Anız yangını ile özellikle Akdeniz bölgesinde, buğdaygiller ve mısır hasadından sonra atmosfere aşırı CO ve CO₂ gibi sera gazları salınmakta, atmosfer yerel olarak çok kirlenmekte bu kirlilik çok uzaktan belirgin olarak görülmektedir. Ayrıca yanmadan geriye kalan ve atmosfere karışan kül ve benzeri partiküller günlük hayatı, ev hayatını etkilemekte, solunum yolları rahatsızlığı olan hastaları olumsuz etkilemektedir. Atmosfere salınan CO ve CO₂ gazlarının atmosferde birikmesi atmosferin daha fazla ısınmasına yani küresel ısınmaya negatif katkı sağlamaktadır.

Ayrıca toprağın mikrobiyolojik yapısına bakıldığında, yanmadan dolayı aşırı derece toprak ısındığı için toprak ve bitkiler için yararlı olan birçok mikro organizma ölmektedir. Bu durum toprağın verimsizleşmesine neden olmaktadır. Verimin düşük olması durumunda çiftçilerimiz kimyasal gübre ve buna bağlı olarak tarımsal ilaç kullanarak üretim yapmakta, bu durum genel sağlık durumunu olumsuz etkilemektedir. Ülkemizde başta kanser olmak üzere birçok sağlık sorununun temelinde tarımdaki bu yanlış uygulamalar yatmaktadır.

Çiftçilerin ve tarımla uğraşanların; doğal döngü ve denge konusunda eğitilmeleri, anız yangını konusunda bilinçlendirilmeleri, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi ciddi bir tehlike konusunda eğitilmeleri, ekolojik, organik ve sürdürülebilir bir tarım bilinci oluşması için eğitilmeleri amaçlanmıştır.

3. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Jeoloji-Biyoloji tarihine baktığımızda geçirmiş olduğu son buzul devir olan Kuaterner buzullaşmasından sonra sıcaklığın pozitif olarak artmasıyla normalleşen dünyamızın biyoçeşitliliği normal halini almaya başlamıştır. Son buzullaşmadan sonraki normalleşme dönemi günümüzden yaklaşık 150-200 yıl önce yavaş yavaş yerini soğumaya bırakması gerekirken insan faktörü sayesinde çevreye salınan çeşitli sera gazları (CO, CO₂ CH₄, su buharı vb.) ile dünyamız ısınmaya devam etmiştir. Artan insan nüfusu, sanayi ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak tarımda makineleşme ile birlikte karasal, denizel ve hava ulaşımının artması fosil yakıtın kullanımının çok artmasına, “Küresel Isınmaya ve İklimin Bozulmasına” olumsuz yönde katkı sağladığı söylenebilir. Tüm canlıların metabolizmaları, atıkları ve ölümlerinin sonucunda açığa çıkan CO₂ ve diğer sera gazlarının atmosferde birikmeleri ve olumsuz etkilerinin şayet fosil yakıtlar olmasa bunun tolere edilebileceği düşünülmektedir. Ancak artan fosil yakıt kullanımı ile atmosfere salınan CO, CO₂ gazları ciddi oranda artmıştır. Ayrıca canlıların metabolizmaları sonucu, atık maddelerin ve canlı atıklarının parçalanması ile sera gazlarının salınımı artmış buda küresel ısınma ve iklim bozulmasına neden olmaktadır. Bunlara ilave olarak da yüzey alanlarının genişlemesiyle durgun sulardan da buharlaşmalar aşırı derece artarak atmosferde su buharının artmasına neden olmuştur. Su buharının da önemli sera gazlarından olduğu söylenebilir. Belirtilen tüm bu olumsuzlukların yanı sıra, uzun zamandır dünyanın dört bir yanında görülen anız yangınları sonucunda oluşan yüksek ısı topraktaki mikroflora ve mikrofaunanın zarar görmesine neden olmuştur. Bu durum bu gün toprağın verimsizleşmesinin ana nedeni olarak görülmektedir. Anız yangınları ile topraktan alınan organik ve inorganik maddelerin kül olmasından dolayı toprak ciddi anlamda mineral yönünden zayıflamaktadır. Ayrıca toprağın mineral yönünden zayıflamasında tarım arazilerinin çoklu tarım uygulamaları yüzünden de çoraklaştığı ve verimsizleştiği bilinmektedir. Tarımla uğraşan insanlar toprağın verimsizleşmesinde kendi yanlış ve bilinçsiz uygulamalarının olduğunu bilmediğinden zayıflayan ve verimsizleşen toprağa kimyasal gübre uygulayarak verimi artırma yoluna gitmektedirler. Kimyasal gübreler toprağın mikroflora ve mikrofaunasını değiştirdiği için tarım alanlarında yeni yeni parazit hastalıkları oraya çıkmasına neden olmuş, bu da zirai mücadele kapsamında pestisit kullanımının önünü açmıştır. Biyolojik mücadele yerine zirai

mücadele çiftçiler tarafından daha hızlı ve kesin çözüm olarak görüldüğünden, günümüzde pestisitlerin zirai ilaç olarak doğada kalıcılık sürelerine dikkat edilmeksizin çiftçiler tarafından tarım alanlarına uygulandığı görülmektedir. Tarım alanlarına bilinçsiz olarak uygulanan bu ilaçların bitki sağlığı, hayvan sağlığı ve insan sağlığını ciddi olarak etkilediğinden dolayı son derece önemli olduğu unutulmamalıdır.

4. ÖNERİLER

Anız yangınlarının tarımsal alanlara, doğal yaşamdaki canlılara ve insan sağlığına olan olumsuz etkilerinin özellikle tarımla uğraşan ve yereldeki insanlara tüm ayrıntıları ile anlatılması gerektiği düşüncesindeyiz. Tarımsal alanlarda meydana gelen anız yakmanın, yerleşim alanlarına, doğal yaşam alanları ve ormanlık alanlara da sıçraması ile ekosisteme verilen zarar kat ve kat artmaktadır. Tarımla uğraşan insanların en önemli anız yakma gerekçelerinden olan anızın çok küçük parçalara ayrılmasını sağlayacak teknolojik tarımsal aletlerin üretilmesinin teşvik edilmesi gerektiği kanaatindeyiz. Anız yakmaya karşı cezai müeyyidelerin artırılmasının yanı sıra anız yakmayı önleyecek ciddi tarımsal desteğin verilmesinin önemli olacağı kanaatindeyiz. Kırsal kesimde doğal yaşam ile iç içe olan tüm insanların Biyoloji, Ekoloji, Ekosistem ve Biyoçeşitlilik konusuna “Ekolojik Okur-Yazarlık ve Halk Biyolojisi” adı altında bilinçlendirme eğitimlerinin verilmesi gerektiği görüşündeyiz (Kırpık, 2024). Anız yangınları Küresel Isınma ve İklim Bozulmasına ciddi anlamda olumsuz katkı vermektedir, bunun için anız yangınlarının azaltılması ve hatta ortadan kaldırılması için, ilgili kamu ve özel kurumlar, bilim insanları ile yereldeki insanların bir araya gelerek çözüm üretmeleri gerektiği görüşündeyiz.

KAYNAKÇA

Kırpık, M.,A., Ayaz, Y., Çelebi, Y., Kılıçer, S., Çağlar, A., *İklimin Hafızası*, Biyosistem Müh Derg 3(2): 78-97, 2022

Temel, M., *Biçerdöver ve Anız Yangınları*, Türkiye Ziraat Odası Yayınları, sayı:442, 2012.

Gürsoy, S., *Diyarbakır İlinde Uygulanan Buğday anızı ve Sapı Yönetim Sistemlerinin Değerlendirilmesi*, YYÜ Tar Bil Dergi 22(3): 173-179.

Cerit, İ, Turkey M.A., Saruhan, H., Şen, .H., M., Ülger, A.,C., Kirişçi, V., Korucu, T., Say, S., 2002, *İkinci Ürün Mısır Yetiştiriciliğinde ekim Öncesi Buğday Anızının Yakılmasına Alternatif Bazı Toprak İşleme Metodlarının Belirlenmesi*, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Proje Kod No: TAGEM/TA/00/01/06/08.

Gülstan, E., Erdal, Hl. ve Yavuz, H., *Anız Yakma ve Çiftçi Bilinç Düzeyi*, Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(8): 662-667, 2016.

Rastogi, M., Signh, S., Pathak, H., *Topraktan Karbondioksit Emisyonu*, General Article Current Science, No:5, 2002.

Demirsoy, A., *Yaşamın Temel Kuralları, Genel Biyoloji-Genel Zooloji, Cilt 1 Kısım 1, 4. Baskı*, 1991.

Bulut, İ., *Türkiye’de Önemsenmeyen Yeni Bir Beşeri Çevre Felaketi: Anız Yakma ve Sonuçlarına Coğrafi Bir Yaklaşım*, Tabiat ve İnsan Dergisi, sa, 4, ss: 5-11, 2000.

Kırpık, M.A., *Ekolojik Okur-Yazarlık ve Halk Biyolojisi*, UMTEB-XVI International Scientific Research Congress December 6-8 s 53-54, 2024.

KÜRESEL ISINMA VE İKLİM BOZULMASINA ADAPTASYONDA DOĞAL YAŞAM REHPERİ

Prof. Dr. Mehmet Ali KIRPIK⁴

Kafkas Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Kars-Türkiye

Orcid: [0000-0003-0156-8127](https://orcid.org/0000-0003-0156-8127),

mhmtalikrpk@gmail.com

ÖZET

Günümüzde iklimde meydana gelen ani değişimler “iklim değişikliği” olarak ifade edilmektedir. Bu kavram aynı zamanda “iklim bozulması” yerinde de kullanılmaktadır. “İklim değişikliği” çeşitli fiziksel faktörlerin etkisinin birlikte ve uzun bir periyotta meydana getirdiği bir sonuç olarak ortaya çıkmaktadır. Küresel ısınma ve iklim değişikliği kavramı ortaya çıkmadan önce iklimler çok az değişim göstermekteydi. İklimi meydana getiren bileşenlerin iklime katkı oranları değiştiğinden, günümüzde ortaya çıkacak sonuçlar tahmine edilemez bir hale gelmiştir. İklimin bozulması sebebiyle doğadaki biyoçeşitliliği oluşturan türlerin doğadaki eliminasyonu daha da hızlanmıştır. Ekolojik şartlardaki değişim ile bazı türlerin daha belirlenmeden bu gün olmaya başlamıştır. Ülkemiz ve dünya ülkelerinde biyoçeşitliliği oluşturan türlerin bir an önce biyolojik tespit edilmesi ve tür envanterinin tamamlanması bir zorunluluk haline gelmiştir. Ekosistemlerde yaşamını sürdüren bitki türlerinin değişen şartlara adaptasyon tercihlerinin belirlenerek kayıt altına alınması oldukça önemlidir. Doğadaki bitkilerin tespit edilen adaptasyon tercihleri, hayvanlar ve insanlar için doğal yaşam rehberi mahiyetinde olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Küresel Isınma, iklim Bozulması, Doğal Yaşam, Adaptasyon, Doğal Yaşam Rehberi.

⁴ Prof. Dr. Mehmet Ali KIRPIK
Kafkas Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Kars-Türkiye
Orcid: [0000-0003-0156-8127](https://orcid.org/0000-0003-0156-8127),
mhmtalikrpk@gmail.com

GİRİŞ

Jeoloji-Biyoloji tarihine baktığımızda dünyamızın oluştuğundan günümüze kadar ki olan süreçte çok kez buzul devir ve ardından normalleşme dönemi yaşamış olduğu anlaşılmaktadır. Son buzullaşma dönemi olarak bilinen kuaterner buzul döneminden sonra gelen normalleşme döneminin arkasından gelmesi beklenen soğuma dönemi maalesef gelmemiş ve dünyamız ısınmaya devam etmiştir. Küresel ısınmanın artarak devam etmesinde hiç kuşkusuz dünyamızın artan nüfusunun etkisinin olduğu söylenebilir. Hatta insan kaynaklı ve insan müdahalesi nedeniyle normal döngüsüne devam edemeyen dünyamızın iklim bozulması şeklinde meydana gelen büyük bir tehdit ile karşı karşıya kaldığı görülmektedir. Dünya nüfusunun artmasıyla doğal kaynakların aşırı derece kullanılması ve tüketilmesi sonunda atık madde olarak ortaya çıkan unsurların neden olduğu kirlilik ve tahribat artık had safhaya ulaşmıştır. Özellikle dünyanın sanayileşme devri ile birlikte aşırı derecede fosil yakıt kullanımı artarak devam etmiştir. Ulaşım ve tarımda kullanılan fosil yakıtlar ile ısınma ve barınma amaçlı kullanılan yakıtlardan dolayı atmosfere ciddi anlamda kirletici gazlar salınmaktadır. Artan nüfusun temel gıda ihtiyacını ve diğer ihtiyaçlarını karşılamak için tarım alanları çok fazla kullanılmaya başlanmış olup bu durum beraberinde ciddi sorunları getirmiştir. Sanayileşme ile birlikte gelişen teknoloji aynı zamanda tarım alanlarının da aşırı derece kullanılmasına beraberinde getirmiştir. Tarım alanlarının bir kısmını dinlendirmek amacıyla nadasa bırakma dönemi çok eskide kalmış, nadasa bırakma yerine aynı tarım alanında ikili hatta üçlü tarım yapma dönemi başlamıştır. Bu durum tarım alanlarının doğal yapısında bulunan bazı minerallerin tükenmesine ve toprağın doğal yapısının kaybolmasına neden olmaktadır. Bu durumda tarımsal alanlar her geçen gün biraz daha verimsizleşmiş ve çoraklaşmış olup yeni tarım alanlarının açılmasına neden olmuştur. Yeni tarımsal alanların açılması yeşil alanlar ile ormanlık alanların azalmasına neden olmaktadır. Koca bir habitat olarak kabul edilen dünyada ilk zamanlardan bu yana canlılık faaliyetleri sonunda doğada bir denge kurulmuş ve bu denge sürekli bir devinim halinde günümüze kadar gelmiştir. İlk dünyadan günümüze kadar olan canlılık faaliyetleri sonunda açığa çıkan ve bugün sera gazları olarak adlandırdığımız gazların atmosferde ve genel iklim stratejisi içerisinde döndürülebildiği halde, kuaterner buzullaşmasının hemen ardından meydana gelen normalleşme sonunda insan faktörü devreye girmiş ve atmosfere aşırı derecede sera gazları salınmıştır. Sanayi ve teknolojideki bu gelişme ile birlikte atmosfere salınan sera gazları da artarak maalesef günümüzde de devam etmektedir. En önemli sera gazlarından olan “CO, CO₂, Metan ve Su Buharı” gibi gazların atmosfere salınımlarını belirtilmiştir (Güzel ve ark., 2014). Sera gazlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle yapılarında fazla miktarda

ısı tutabilme kapasiteleri nedeniyle burada meydana gelen 1 °C'lik bir ısınma dünyamıza sera etkisiyle yaklaşık 10oC olarak etki etmektedir. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği olarak adlandırılan bu durumun emarelerini hemen hemen her gün dünyamızın dört bir yanında görmekteyiz. Küresel ısınma etkisiyle meydana gelen iklim değişikliği ibaresi yerine “İklim Bozulması” demek daha mantıklı ve bilimsel olduğu ortadadır. Çünkü iklimdeki ani, kararsız ve kuralsız olan bu farklılaşma düzenli bir başka formata dönüşme şeklinde olmamaktadır. Her yeni iklimsel olay olarak kabul ettiğimiz yağış vs. olayları hiçbir zaman bir önceki ve bir sonraki ile uyuşmamakta her iklimsel olay kendi başına ve kendine has özellikleriyle meydana gelmektedir. Yani düzenli bir dönüşümün olduğunu söylemek mümkün değildir, bu nedenle iklim değişikliği demek yerine iklim bozulması demek daha mantıklı ve bilimsel olduğu söylenebilir. Tüm bu olumsuzlukların meydana geldiği dünyamızda tüm ekosistemler ve biyoçeşitlilik bir denge halinde olmuş ve olmaya devam etmek durumunda ancak değişen iklimsel şartlar ekosistemleri ve biyoçeşitliliği ciddi anlamda olumsuz olarak etkilemektedir. Dünya ekosisteminin içerisindeki bu durumdan çıkması için elbetteki tüm insanlığın görev ve sorumlulukları bulunmaktadır. Ancak çok hızlı bir bozulmanın ve adeta yok oluşa doğru giden dünyamızı kurtarmak için alışlagelmiş ya da geçici çözümler yerine kalıcı ve sonuç verici çözümler üretme zamanı gelmiş bulunmaktadır. Kutlay (2017) TEMA Dünyanın Durumu adlı eserinde dünyanın hızlı bir şekilde geri dönüşümsüz yola gittiğini ve ortalama 10 yıl sonra çok keskin önlemler alınsa da dahi geri dönüşümün olamayacağı belirtilmektedir. Çok sayıda bilimsel makaleden oluşan bu eserde adeta çok fazla zaman kalmadığını ve tüm insanlığın acil önlem alması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu bağlamda tüm insanlığın üzerine düşen görev ve sorumluluklarını yerine getirmesi şart ve kaçınılmaz durumda iken, üniversitelerde; Biyoloji, Ekosistem, Ekoloji ve Biyoçeşitlilik gibi konularda lisans eğitimi veren birim ve kuruluşlara çok fazla görev ve sorumluluk düştüğünü, bu birimlerin, lisans programlarının yapılaşma ve müfredatlarını bu tehlikeye karşı nasıl adapte olunacağı ve tehlikenin etkisini nasıl azaltacağı konuları kapsamında güncellemeleri gerekmektedir (Kırpık, 2024).

2. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Küresel ısınmanın etkisiyle iklimde meydana gelen bozulma ekosistemleri etkileyen ekolojik şartların, ekolojik faktörlerinde değişmesine neden olmuş ve olmaktadır. Değişen ekolojik şartlara bağlı olarak ekosistemlerin şartları değiştiğinden dolayı biyoçeşitlilikte ciddi bir değişiklik ve hareketliğin olduğu ortadadır. Çok kısa bir zaman önce tüm dünyanın yaşamış olduğu Covid-19 pandemisi buna en güzel örneklerden biridir. Uzun yıllardır oluşmuş

ekosistemlerin işleyişinde etkili olan ekolojik faktörlerin değişmesiyle ekosistemin nereye doğru evrileceğini kestirmek mümkün olamamaktadır. Ekosistem şartlarının değişmesine bağlı olarak ülkemizde ekzotik ve istilacı türlerin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Ekzotik ve istilacı türlerin artmasıyla ekosistemlerin işleyişlerinde ve yönetilmesinde ciddi değişimlerin ve sorunların olacağı belirtilmektedir (Kırpık, 2018). Biyoçeşitliliğe kazandırılmadan bazı türlerin ekosistemden kaybolma frekanslarının artacağı, bilinen türlerinde soylarının değişen çevresel şartlardan dolayı tehlike altında olduğunu söylemek mümkündür. Uzun yıllar normal olarak işleyen ekosistemlerde bazı türler inaktif durumda varlıklarını devam ettirmekte iken değişen ekolojik ve çevresel faktörlerin etkisiyle aktif hale gelebilme ihtimalleri yüksektir. Hatta bazı türlerin patojenite özelliklerini kazanmaları tüm canlılık için tehlikeli ve pandemiye sebep olmaları kuvvetle muhtemeldir. Bozulan iklim koşullarında canlıları üç büyük kategoriye ayırarak ele almak gerektiği düşüncesindeyiz. Bu üç büyük grup, insanlar, doğal yaşamdaki canlı grupları ile kültürü yapılan canlı grupları olarak adlandırılabilir. Gerek hayvanlar âleminden gerekse bitkiler âleminden kültürü yapılan canlıların bu iklim bozulmasından daha çok etkilenebilecekleri unutulmamalıdır. Bu nedenle iklim bozulmasının etkilerinin neler olduğunu anlamada, iklim bozulmasına ve değişen iklimsel şartlara verilen cevapta doğal yaşam türlerinin aktiviteleri oldukça önem arz etmektedir. Küresel ısınmanın etkisiyle meydana gelen iklim bozulmasının iki büyük başlık adı altında ele alınması gerekmekte, doğal yaşamdaki türlerin bu bağlamda değerlendirilmesi düşüncesindeyiz. Buna göre doğal yaşamdaki türlerin insan dâhil bozulan iklim şartlarına göre adaptasyon stratejileri belirlenmeli ve “Küresel Isınma ve İklim Bozulması”nın olumsuz etkisinin azaltılması kapsamında bu büyük tehlike ile mücadele edilmesi gerekmektedir.

3. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Küresel Isınma ve İklim Bozulması ile mücadeleyi iki ana başlık altında toplanılması gerektiği belirtilmişti. Bu başlıklar; iklim bozulmasına insan dahil tüm canlıların adaptasyonları ve Küresel ısınmanın etkisini azaltıcı tedbirler olarak söylenebilir. Bu çalışmada birinci kısım olan insan ve diğer tüm canlıların iklim bozulması tehlikesine adaptasyon kısmı üzerinde durulacaktır. “Küresel Isınma ve İklim Bozulması” tehlikesine karşı üniversitelerin Biyoloji lisans programlarında ve benzer diğer programlarda verilen “Biyoloji, Ekoloji, Ekosistem ve Biyoçeşitlilik” gibi eğitimlerin yanı sıra bu eğitimlerin doğrudan doğa ile iç içe yaşayan kırsalda yaşayan insanlarda verilmesi için bu programların altında “Ekoekolojik Okur-Yazarlık ve Halk Biyolojisi” Anabilim Dalının kurulması ve ona göre müfredat programlarını geliştirmeleri

önem arz etmektedir. Özellikle Biyoloji lisans programlarında müfredat programlarına uyarlanarak “Ekoloji ve Biyoçeşitlilik Okulları” açılmalıdır. “Ekoloji ve Biyoçeşitlilik Okulları”nda ülkemiz ve dünya biyoçeşitlilik envanter çalışmalarına hız verilmeli ve tüm alanlardaki biyoçeşitlilik envanteri tamamlanmalıdır. Bunun için açılacak “Ekoloji ve Biyoçeşitlilik Okulları”nın lisansüstü eğitim programları kapsamında yeterli sayıda “Biyoloji Lisans” mezunu alınarak belli konularda hızlıca eğitilmeleri ve eğitimden sonra hem lisansüstü eğitimlerini yapmaları hem de biyoçeşitlilik envanteri çıkarmaları için gerekli düzenlemelerin yapılması aciliyet arz etmektedir. Yapılacak çalışmalar ile hem ülkemiz ve dünya biyoçeşitliliği kayıt altına alınmış olacak, bilinen tür sayısı, bilinmeyen tür sayısı arasındaki makas daralacak, kaybolan türlerin takiplerinin kolaylaşması sağlanacaktır. Ülkemiz ve dünyanın biyoçeşitliliğinin tespiti ile birlikte doğal yaşamdaki türlerin özellikle de bitkilerin iklim bozulmasına karşı dirençleri, uyumları ve hayatta kalma başarıları düzenli olarak kayıt altına alınacaktır. Bu veriler doğal yaşamdaki türlerin bozulan ve zorlaşan iklim koşullarına karşı bitki ve hayvan türlerinin, tutum ve davranışlarını öğrenmemizi sağlayacak olup bu durum insan ve tüm kültür ırkları için adeta bir yaşam rehberi niteliği kazanacaktır. Böylece iklim bozulmasına uyum için alınması gereken tedbirler daha kolay belirlenerek uygun bitki ve hayvan kültür ırklarının tercih edilmeleri kolaylaşacaktır. Bu nedenlerden dolayı önümüzdeki yüzyılın Biyoloji yüzyılı olacağını düşüncesindeyiz, bu durumun Biyologlara ciddi, kaçınılmaz bir görev ve sorumluluk yüklediğini düşünmekteyiz. Bozulan iklim koşullarına bağlı olarak meydana gelen kuraklığa karşı adaptasyon kabiliyeti olan bitkilerin tercih edilmelerindeki bilgi, görgü ve tecrübeler artacak olup bu durum insanlık olarak bizim hayatta kalabilmemize ciddi katkı sağlayacaktır.

4. ÖNERİLER

Anız yangınlarının tarımsal alanlara, doğal yaşamdaki canlılara ve insan sağlığına olan olumsuz etkilerinin özellikle tarımla uğraşan ve yereldeki insanlara tüm ayrıntıları ile anlatılması gerektiği düşüncesindeyiz. Tarımsal alanlarda meydana gelen anız yakmanın, yerleşim alanlarına, doğal yaşam alanları ve ormanlık alanlara da sıçraması ile ekosisteme verilen zarar kat ve kat artmaktadır. Tarımla uğraşan insanların en önemli anız yakma gerekçelerinden olan anızın çok küçük parçalara ayrılmasını sağlayacak teknolojik tarımsal aletlerin üretilmesinin teşvik edilmesi gerektiği kanaatindeyiz. Anız yakmaya karşı cezai müeyyidelerin artırılmasının yanı sıra anız yakmayı önleyecek ciddi tarımsal desteğin verilmesinin önemli olacağı kanaatindeyiz. Kırsal kesimde doğal yaşam ile iç içe olan tüm insanların Biyoloji, Ekoloji,

Ekosistem ve Biyoçeşitlilik konusuna “Ekolojik Okur-Yazarlık ve Halk Biyolojisi” adı altında bilinçlendirme eğitimlerinin verilmesi gerektiği görüşünderiz (Kırpık, 2024). Anız yangınları Küresel Isınma ve İklim Bozulmasına ciddi anlamda olumsuz katkı vermektedir, bunun için anız yangınlarının azaltılması ve hatta ortadan kaldırılması için, ilgili kamu ve özel kurumlar, bilim insanları ile yereldeki insanların bir araya gelerek çözüm üretmeleri gerektiği görüşünderiz.

KAYNAKÇA

- Güzel, Y., Bilgili, A.,V., Toprak, D., Almaca, A. ve Mermut, A., R., *Anız Yakmanın Karbondioksit Salınımına Etkisi*, Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi 18(1), 26-32, 2014.
- Kutluay, D., *TEMA Vakfı, Dünyanın Durumu, Yeryüzü Eğitimi; Değişen Gezegende Eğitimi Yeniden Düşünmek* 2017.
- Kırpık, M.A., *Ekolojik Okur-Yazarlık ve Halk Biyolojisi*, UMTEB-XVI International Scientific Research Congress December 53-54, 2024.
- Kırpık, M.,A., *Ayır, Çıldır ve Aktaş Göllerinde Tespit Edilen Ekzotik ve İstilacı Türler* Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 11, Sayı 2,65-68, 2018.

AKDENİZ BÖLGESİ'NDEN KAYDEDİLMİŞ ZERKONİD AKARLAR (ACARI: ZERCONIDAE)

Doç. Dr. Mehmet KARACA

Pamukkale Üniversitesi/Denizli Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Denizli
karacamehmet@pau.edu.tr - 0000-0002-3249-4215

Prof. Dr. Raşit URHAN

Pamukkale Üniversitesi/Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Denizli
rurhan@pau.edu.tr - 0000-0002-6548-7927

ÖZET

Zerconidae familyasına ait olan toprak akarları kısaca zerkonidler olarak adlandırılır. Mikroskopik boyutlu olan bu canlı grubunun yayılış kayıtları yalnızca Holarktık bölgeden bilinmektedir. Ülkemizin de aralarında bulunduğu bazı bölgelerde bu canlıların sistematigi üzerine yapılmış çok sayıda araştırma mevcuttur. Günümüze kadar yapılan sistematik çalışmalara göre Kuzey Yarımküre'de yaklaşık 500 türle temsil edilen zerkonidlerin Türkiye'den iki farklı cinsi (*Prozercon* ve *Zercon*) ve toplamda 140 türü bildirilmiştir. Ancak, ülkemiz yüzölçümünün büyük olması sebebiyle zerkonidler üzerine halen araştırma yapılmamış birçok bölge de bulunmaktadır. Bu çalışmada, Mesostigmata takımı altında değerlendirilen zerkonidlerin ülkemizin güneyinde yer alan Akdeniz Bölgesi'nden kaydedilmiş tüm türleri gözden geçirilmiştir. Gerçekleştirilen literatür taramalarına göre 20 farklı zerkonid türünün bölgede yayılış gösterdiği tespit edilmiştir. Bunlardan 4 tür *Prozercon* cinsine ve 16 tür ise *Zercon* cinsine aittir. Bahsi geçen türlerden 12'si Türkiye'ye endemik olup bunlardan 7'si Akdeniz Bölgesi'nden bilim dünyası için yeni türler olarak tanımlanmışlardır. Bu türlerle ait tip örneklerinin terra typica'sı (tip yeri) bölgede yer alan Adana, Burdur ve Mersin illeridir. Ayrıca, bölgeden bilinen tüm zerkonidlerin ülkemizdeki ve dünyadaki yayılışları güncel literatürler eşliğinde sunulmuştur. Bu çalışmanın hem Akdeniz Bölgesi'nin biyoçeşitliliğine hem de ülkemiz akarofaunasına katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mesostigmata, biyoçeşitlilik, akarofauna, Türkiye.

ZERCONID MITES (ACARI: ZERCONIDAE) RECORDED FROM THE MEDITERRANEAN REGION, TÜRKİYE

ABSTRACT

The soil mites belonging to the family Zerconidae are called zerconids as shortly. The distribution records of this microscopic living group are known only from the Holarctic region. There are many studies on the systematics of this group in some regions, including our country. According to the systematic studies conducted to date, zerconids, represented by approximately 500 species in the Northern Hemisphere, have been reported from Türkiye with two different genera (*Prozercon* and *Zercon*) and a total of 140 species. However, due to the large surface area of our country, there are many regions where zerconids have not yet been studied. In this study, all species of zerconids evaluated within the order Mesostigmata recorded from the Mediterranean Region in the south of our country were reviewed. According to the literature review, it was determined that 20 different zerconid species were distributed in the region. Of these, 4 species belong to the genus *Prozercon* and 16 species belong to the genus *Zercon*. 12 of the mentioned species are endemic to Türkiye and seven of them have been defined as new species for the science from the Mediterranean Region. The type localities (terra typica) of these species are Adana, Burdur and Mersin provinces located in the region. In addition, country and world distributions of all recorded zerconids from the region is presented with current literature. This study is aimed to contribute to both the biodiversity of the Mediterranean Region and the acarofauna of our country.

Key Words : Mesostigmata, biodiversity, acarofauna, Türkiye.

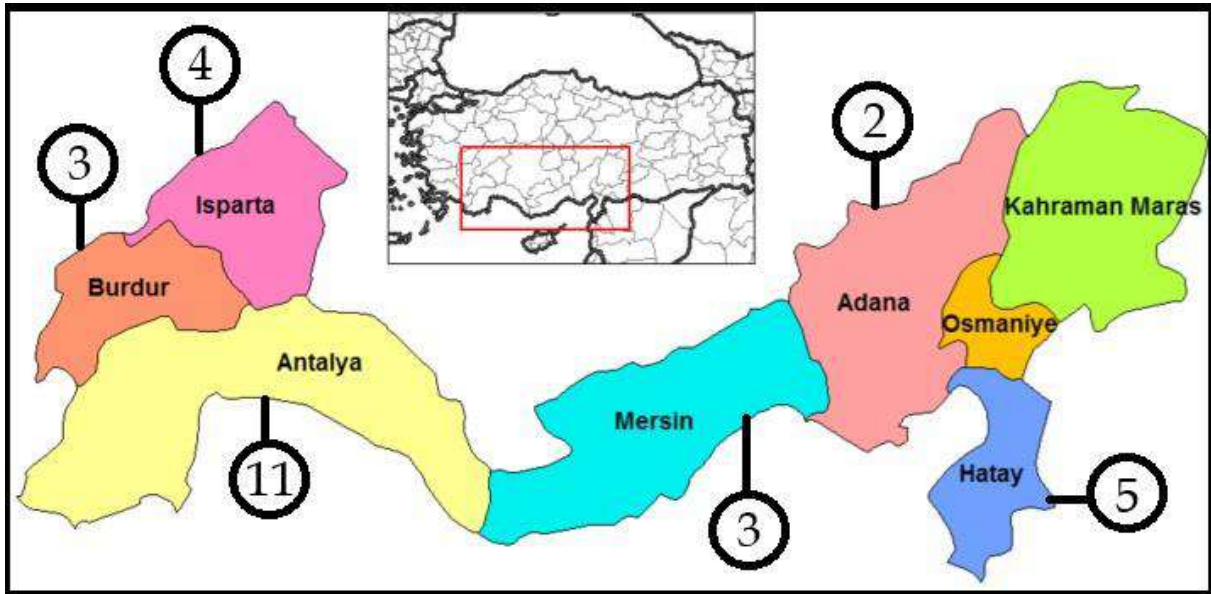
1. GİRİŞ

Türkiye akar faunası Ixodida, Mesostigmata, Sarcoptiformes ve Trombidiformes takımları altında toplanmış yaklaşık 1250 taksondan meydana gelmiştir (Erman vd., 2024). Zerconidae familyası içinde yer alan akarlar, kısaca zerconidler olarak bilinirler ve Mesostigmata takımının Türkiye'de iyi bilinen gruplarından birini oluştururlar. Zerconidler üzerine ülkemizde birçok farklı alanda (il bazında, bölgesel, korunan alanlarda vb.) sistematik ve taksonomik araştırmalar gerçekleştirilmiş olup şimdiye kadar 140 civarında farklı tür Türkiye'den kaydedilmiştir. Spesifik bir omurgasız hayvan grubu olması nedeniyle bilinen ülkemizden bilinen türlerin büyük bir çoğunluğu Türkiye'ye endemiktir.

Ülkemizin yedi coğrafik bölgesinden biri olan Akdeniz Bölgesi tüm bölgeler arasında büyüklük bakımından yaklaşık 110.000 km²lik yüzölçümüyle dördüncü sırada yer alır. Türkiye'nin güneyinde yer alan, bünyesinde 8 farklı ili barındıran (Görsel 1) ve Akdeniz kıyısı boyunca

uzanan bu bölgede arazi yapısı oldukça dağlık ve engebelidir. Beyşehir, Eğirdir, Burdur ve Suğla gölleri bölgedeki başlıca sulak alanlardır. Bölgenin kıyıya yakın kısımlarında Akdeniz iklimi görülürken iç kesimlere gidildikçe karasal iklim hakimdir. Mevsimler arasında yağış miktarı bakımından bariz bir fark görülmez. Dağların denize bakan kısımları makilikler ve orman sahalarıyla kaplıdır. Defne, keçiboynuzu, zeytin gibi bodur ve kısa ağaçlar maki örtüsü içerisindeki temel bitki türleridir. Aladağlar Milli Parkı, Altınbeşik Mağarası Milli Parkı, Beydağları Sahil Milli Parkı, Güllük Dağı Termessos Milli Parkı, Karatepe Aslantaş Milli Parkı, Kızıldağ Milli Parkı, Kovada Gölü Milli Parkı, Köprülü Kanyon Milli Parkı, Saklıkent Milli Parkı ve Yumurtalık Lagünü Milli Parkı bölgede yer alan korunan alanların başlıcalarıdır (Url-1).

Bu çalışmanın asıl amacı, günümüze kadar ülkemizde Akdeniz Bölgesi'nden kaydedilmiş tüm zerconidler için toplu bir tür listesinin oluşturulmasıdır. Çalışmanın bu yönüyle hem Akdeniz Bölgesi'nin biyoçeşitliliğine hem de Türkiye akarofaunasına katkı sağlaması amaçlanmıştır.



Görsel 1. Akdeniz Bölgesi'nin haritası (ölçeksiz, Url-2) ve illerden kaydedilmiş zerconidlerin tür sayıları.

2. MATERYAL VE METOT

Türkiye'nin güneyinde bulunan Akdeniz Bölgesi'nden kaydedilmiş tüm zerconid akarların toplu listesini oluşturabilmek amacıyla literatürde yer alan çeşitli kaynaklar gözden geçirilmiştir. Bölgede yer alan tüm illerden yayılış kayıtları (Görsel 1) verilen Zerconidae familyasına ait türler not edilmiş ve alfabetik olarak bu çalışmada listelenmiştir. Literatür verilerine ek olarak 1995-2008 yılları arasında Akdeniz Bölgesi'ndeki Hatay ve Mersin illerinde gerçekleştirilen arazi çalışmalarında bulunan zerconid akar türleri de sunulmuştur.

3. BULGULAR

3.1. Literatür Kayıtları

Literatürde yer alan verilere dayanarak, 1979-2024 yılları arasında Akdeniz Bölgesi'ndeki farklı illerde çeşitli lokalitelerinden toplanan biyolojik materyallerden 2 cins'e ait 20 farklı zerkonid türünün varlığı not edilmiştir (Çizelge 1). Bahsi geçen zerkonid türlerinden 4'ü *Prozercon* cinsine, 16'sı ise *Zercon* cinsine aittir. Bu kısımda bölgeden bildirilen tüm zerkonid akarlar alfabetik olarak sunulmuştur. Ayrıca, türlerin Türkiye ve dünya yayılışları da güncel kaynaklar eşliğinde verilmiştir.

Familiya: ZERCONIDAE Canestrini, 1891

Cins: *Prozercon* Sellnick, 1943

Tip türü: *Zercon fimbriatus* C. L. Koch, 1839

Cinsin detaylı tanımını için Urhan ve Karaca (2023)'e bakınız.

3.1.1. *P. balikesirensis* Urhan, 2008

Türkiye kayıtları: Balıkesir, Bursa, Isparta, İstanbul, Kütahya (Karaca ve Urhan, 2017, 2023a; Urhan, 2017).

Dünya yayılışı: Türkiye (Karaca ve Urhan, 2023a).

3.1.2. *P. mersinensis* Urhan, 1998

Türkiye kayıtları: Mersin (Urhan, 1998a), Hatay (bu çalışma).

Dünya yayılışı: Türkiye (Urhan, 1998a).

3.1.3. *P. tragardhi* (Halbert, 1923)

Türkiye kayıtları: Ankara, Artvin, Aydın, Bolu, Denizli, Erzincan, Erzurum, Giresun, İstanbul, Kırklareli, Kütahya, Muğla, Ordu, Tekirdağ (Urhan, 2017; Urhan ve Karaca, 2024b; Karaca, 2025), Çorum, Rize, Trabzon (Karaca ve Urhan, 2024a), Hatay (bu çalışma).

Dünya yayılışı: Almanya, Avusturya, Britanya Adaları, Bulgaristan, Çekya, Hırvatistan, İngiltere, İrlanda, İsveç, İsviçre, İzlanda, Letonya, Litvanya, Macaristan, Polonya, Romanya, Rusya, Slovakya, Slovenya, Türkiye, Ukrayna (Karaca, 2025).

3.1.4. *P. yavuzi* Urhan, 1998

Türkiye kayıtları: Antalya, Aydın, Balıkesir, Denizli, Manisa, İstanbul, İzmir, Muğla, Uşak (Urhan, 2017; Demirdöven vd., 2024; Karaca ve Urhan, 2024a).

Dünya yayılışı: Yunanistan, Türkiye (Karaca ve Urhan, 2024a).

Çizelge 1. Akdeniz Bölgesi'nden kaydedilmiş zerkonid akarların listesi (L: literatür kayıtları, A: arazi çalışmalarıyla bölgeden yeni kaydedilen türler).

Tür	Adana ^[1]	Antalya ^[2-4]	Burdur ^[5-7]	Hatay	Isparta ^[8-9]	Kahramanmaraş*	Mersin ^[10]	Osmaniye*
<i>P. balikesirensis</i>					L			
<i>P. mersinensis</i>				A			L	

<i>P. tragardhi</i>				A			
<i>P. yavuzi</i>		L					
<i>Z. agnostus</i>	L			A		A	
<i>Z. ayyildizi</i>			L				
<i>Z. burdurensis</i>			L		L		
<i>Z. cokelezicus</i>		L					
<i>Z. colligans</i>		L		A	L	A	
<i>Z. fethiyensis</i>		L					
<i>Z. huseyini</i>		L					
<i>Z. kallimcii</i>		L					
<i>Z. kasensis</i>		L					
<i>Z. marinae</i>		L					
<i>Z. muglaensis</i>		L					
<i>Z. notabilis</i>	L			A			
<i>Z. quadricavum</i>		L					
<i>Z. salebrosus</i>		L					
<i>Z. saphenus</i>					L		
<i>Z. tefenniensis</i>			L				
TOPLAM							

* Zerconid akarların Kahramanmaraş ve Osmaniye illerinden henüz kaydı bulunmamaktadır. Kaynaklar [1]: Błaszak, 1979a; [2]: Urhan vd., 2013; [3]: Karaca ve Urhan, 2024b; [4]: Demirdöven vd., 2024; [5]: Urhan, 2000; [6]: Urhan, 1997; [7]: Urhan, 2010; [8]: Karaca ve Urhan, 2017; [9]: Urhan ve Duran, 2019; [10]: Urhan, 1998.

Cins: *Zercon* C. L. Koch, 1836

Tip türü: *Zercon triangularis* C. L. Koch, 1836

Cinsin detaylı tanımını için Urhan ve Karaca (2023)'e bakınız.

3.1.5. *Z. agnostus* Błaszak, 1979

Türkiye kayıtları: Adana (Błaszak, 1979a), Amasya, Giresun, Yozgat (Mohammad-Doustaresharaf vd., 2023), Çorum (Karaca ve Urhan, 2024a), Hatay, Mersin (bu çalışma).

Dünya yayılışı: İran, Türkiye (Mohammad-Doustaresharaf vd., 2023).

3.1.6. *Z. ayyildizi* Urhan, 1997

Türkiye kayıtları: Burdur, Denizli, Manisa (Urhan, 2024).

Dünya yayılışı: Türkiye (Urhan, 2024).

3.1.7. *Z. burdurensis* Urhan, 2000

Türkiye kayıtları: Afyonkarahisar, Burdur, Denizli, Isparta, Kütahya, Manisa (Urhan, 2017, 2024).

Dünya yayılışı: Türkiye (Urhan, 2024).

3.1.8. *Z. cokelezicus* Urhan, 2009

Türkiye kayıtları: Afyonkarahisar, Denizli, Eskişehir, Kütahya, Manisa, Uşak (Urhan, 2017, 2024), Antalya (bu çalışma).

Dünya yayılışı: Türkiye (Urhan, 2024).

3.1.9. *Z. colligans* Berlese, 1920

Türkiye kayıtları: Afyonkarahisar, Amasya, Artvin, Aydın, Balıkesir, Çanakkale, Denizli, Edirne, Erzincan, Erzurum, Eskişehir, Giresun, Isparta, İstanbul, İzmir, Kırklareli, Kütahya, Manisa, Muğla, Tekirdağ, Uşak (Kabasakal, 2015; Urhan, 2017, 2024), Sinop (Karaca ve Urhan, 2024a), Antalya (Karaca ve Urhan, 2024b), Hatay, Mersin (bu çalışma).

Dünya yayılışı: Fransa, İran, İsveç, İsviçre, İtalya, Rusya, Türkiye (Urhan, 2024).

3.1.10. *Z. fethiyensis* Urhan & Karaca, 2024

Türkiye kayıtları: Antalya, Muğla (Karaca ve Urhan, 2024b; Urhan ve Karaca, 2024a).

Dünya yayılışı: Türkiye (Urhan ve Karaca, 2024a).

3.1.11. *Z. huseyini* Urhan, 2008

Türkiye kayıtları: Afyonkarahisar, Antalya, Aydın, Denizli, İzmir, Kütahya, Manisa, Muğla, Uşak (Urhan, 2017, 2024; Karaca ve Urhan, 2024b; Urhan ve Karaca, 2024b).

Dünya yayılışı: Türkiye (Urhan, 2024).

3.1.12. *Z. kallimcii* Halašková, 1969

Türkiye kayıtları: Aydın, Denizli (Urhan, 2024), Antalya (Karaca ve Urhan, 2024b), Muğla (Urhan ve Karaca, 2024b).

Dünya yayılışı: Türkiye (Urhan, 2024).

3.1.13. *Z. kasensis* Demirdöven, Urhan & Karaca, 2024

Türkiye kayıtları: Antalya (Demirdöven vd., 2024).

Dünya yayılışı: Türkiye (Demirdöven vd., 2024).

3.1.14. *Z. marinae* Ivan & Călugăr, 2004

Türkiye kayıtları: Afyonkarahisar, Antalya, Balıkesir, Çanakkale, Edirne, İstanbul, Kırklareli, Kütahya, Tekirdağ, Uşak (Urhan, 2017; Karaca ve Urhan, 2023a, 2024b).

Dünya yayılışı: Türkiye (Karaca ve Urhan, 2024b).

3.1.15. *Z. muglaensis* Bilki, Urhan & Karaca, 2022

Türkiye kayıtları: Antalya, Muğla (Karaca ve Urhan, 2024b; Urhan ve Karaca, 2024b).

Dünya yayılışı: Türkiye (Urhan ve Karaca, 2024b).

3.1.16. *Z. notabilis* Błaszak, 1979

Türkiye kayıtları: Adana (Błaszak, 1979a), Hatay (bu çalışma).

Dünya yayılışı: İran, Türkiye (Karaca vd., 2017).

3.1.17. *Z. quadricavum* Urhan, 2001

Türkiye kayıtları: Antalya, Muğla, Denizli, Kütahya, Uşak (Urhan, 2017, 2024; Karaca ve Urhan, 2024b).

Dünya yayılışı: Türkiye (Urhan, 2024).

3.1.18. *Z. salebrosus* Błaszak, 1979

Türkiye kayıtları: Antalya (Urhan vd., 2013).

Dünya yayılışı: Tunus, Türkiye (Błaszak, 1979b; Urhan vd., 2013).

3.1.19. *Z. saphenus* Błaszak, 1979

Türkiye kayıtları: Isparta (Urhan ve Duran, 2019).

Dünya yayılışı: Tunus, Türkiye (Błaszak, 1979b; Urhan ve Duran, 2019).

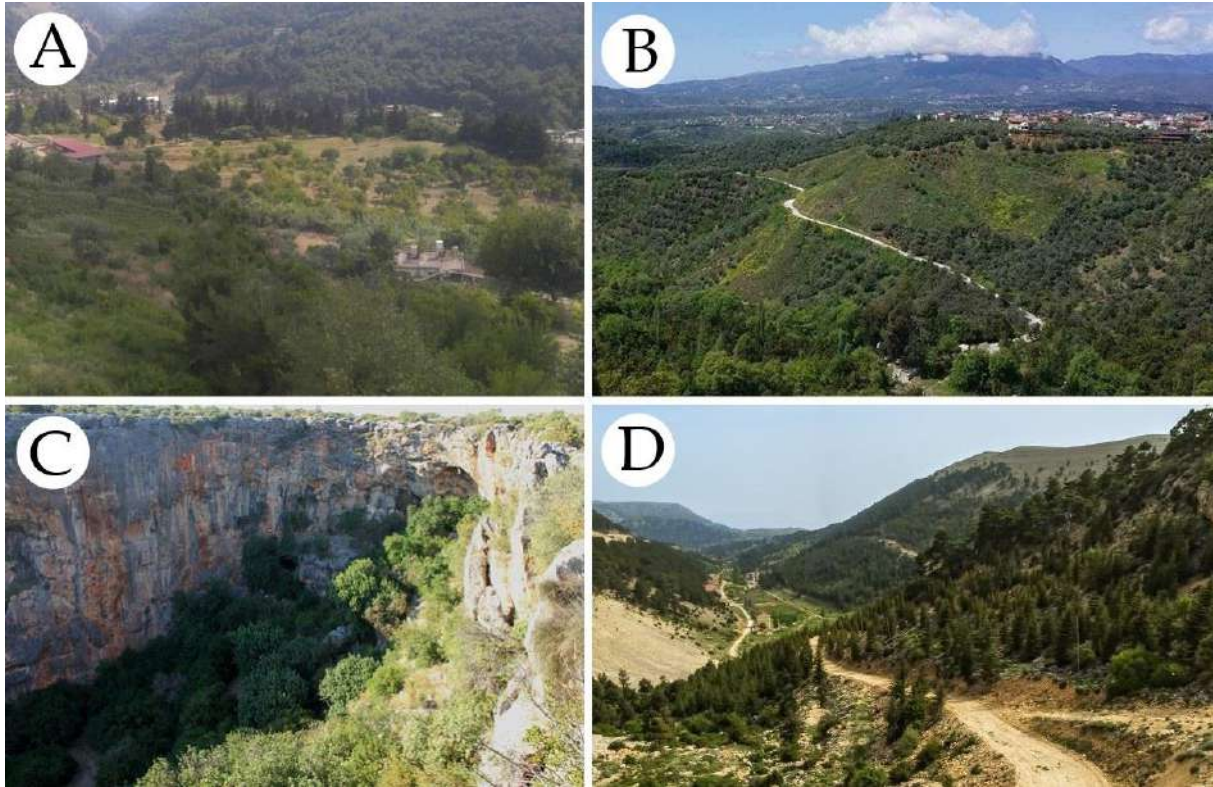
3.1.20. *Z. tefenniensis* Urhan, 2010

Türkiye kayıtları: Afyonkarahisar, Burdur (Urhan, 2010, 2017).

Dünya yayılışı: Türkiye (Urhan, 2010).

3.2. Bölgeden Kaydedilen Yeni Materyaller

1995-2008 yılları arasında Hatay ve Mersin illerindeki farklı lokalitelerden (Görsel 2) toplanan biyolojik materyallerde 5 farklı zerconid akar türü tespit edilmiştir (Çizelge 2).



Görsel 2. Akdeniz Bölgesi'nden yeni bildirilen zerconidler için örneklerin toplandığı lokaliteler (A: Sarımazi Mevkii, Belen, Hatay [Url-3], B: Döver Köyü, Antakya, Hatay [Url-4], C: Cennet Mağarası civarı, Silifke, Mersin [Url-5], D: Sertavur Geçidi, Mut, Mersin [Url-6]).

Çizelge 2. Akdeniz Bölgesi'nden bu çalışmada sunulan yeni Zerconidae materyalleri (Kısaltmalar= m: metre, D: doğu, K: kuzey, DN: dötonimf, PN: protonimf).

Tarih	Koordinat	Rakım (m)	Habitat	Lokalite	Tür / Birey Sayısı
01.12.2003	36°32.710' K 36°10.004' D	194	<i>Pinus brutia</i> <i>Quercus coccifera</i>	Sıfın Mevkii, İskenderun, Hatay	<i>P. mersinensis</i> : 8♀ <i>Z. agnostus</i> : 5♀, 10♂, 3DN
02.12.2003	36°31.580' K 36°9.705' D	292	<i>Pinus brutia</i>	Issume Mevkii, Belen, Hatay	<i>P. mersinensis</i> : 7♀, 2♂ <i>Z. agnostus</i> : 4♂, 3DN
02.12.2003	36°30.737' K 36°31.392' D	491	<i>Pinus brutia</i> <i>Quercus coccifera</i>	Sarımazi Mevkii, Belen, Hatay	<i>P. mersinensis</i> : 1♂ <i>Z. notabilis</i> : 8♀, 26♂, 4DN

02.12.2003	36°49.895' K 36°13.786' D	80	<i>Pinus brutia</i>	Çamlık Mevkii, İskenderun, Hatay	<i>Z. agnostus</i> : 1♂
12.12.2004	36°30.737' K 36°8.471' D	329	<i>Pinus brutia</i>	Belen, Hatay	<i>P. mersinensis</i> : 6♀ <i>Z. agnostus</i> : 17♀, 12♂, 1DN
10.12.2008	36°7.920' K 36°7.343' D	85	<i>Maclura pomifera</i>	Yeşilpınar Köyü, Antakya, Hatay	<i>Z. colligans</i> : 6♀, 2♂, 2DN, 1PN
10.12.2008	36°6.959' K 36°7.485' D	242	<i>Pinus brutia</i>	Döver Köyü, Antakya, Hatay	<i>P. mersinensis</i> : 32♀, 26♂, 17DN, 5PN <i>Z. agnostus</i> : 22♀, 8♂, 3DN, 2PN
10.12.2008	36°7.798' K 36°8.543' D	224	<i>Olea europaea</i> <i>Platanus orientalis</i>	Harbiye Şelaleleri, Antakya, Hatay	<i>P. mersinensis</i> : 41♀, 5♂, 1DN <i>P. tragardhi</i> : 8♀, 1♂ <i>Z. agnostus</i> : 34♀, 59♂, 18DN, 5PN
15.05.1995	37°11.467' K 34°50.572' D	803	<i>Pyrus elaeagrifolia</i>	Yeniköy, Tarsus, Mersin	<i>Z. colligans</i> : 2♀, 1♂
24.06.2005	36°27.187' K 34°6.411' D	144	<i>Styrax officinalis</i> <i>Laurus nobilis</i>	Cennet Mağarası civarı, Silifke, Mersin	<i>Z. colligans</i> : 4♀
25.06.2005	36°39.011' K 34°20.158' D	57	<i>Pinus brutia</i> <i>Pistacia lentiscus</i>	Mersin-Silifke Yolu kenarı, Silifke, Mersin	<i>Z. colligans</i> : 6♀
25.06.2005	36°54.722' K 33°15.860' D	1612	<i>Juniperus oxycedrus</i> <i>Pinus nigra</i>	Sertavur Geçidi, Mut, Mersin	<i>Z. agnostus</i> : 1♀

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesi'nde yer alan 8 farklı ilden günümüze kadar yayılış kayıtları verilen Zerconidae familyasına ait akar türlerinin çeşitliliği araştırılmıştır. Literatür verilerinin haricinde Hatay ve Mersin illerinde gerçekleştirilen arazi çalışmaları neticesinde elde edilen bulgularda bu çalışmada sunulmuştur. Mevcut çalışmada Akdeniz Bölgesi'nden kaydedilmiş tüm türler listelenmiş olsa da elde edilen bulgular bölgenin sahip olduğu tür çeşitliliğini ana hatlarıyla ortaya koymaktan çok uzaktır. Ülkemizin güneyinde yer alan, mevsimsel ve yeryüzü şekilleri bakımından farklılıklara sahip olan Akdeniz Bölgesi gerek flora gerekse fauna elemanları bakımından oldukça zengin bir alandır. Ancak bu bölgede zerkonidler üzerine şu ana kadar yapılan kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Tür çeşitliliği bakımından Antalya ilinden 11 farklı zerkonid bildirilmiş olup bunların 10 tanesi Antalya-Muğla sınırında yer alan Saklıkent Milli Parkı'ndan kaydedilmiştir (Demirdöven vd., 2024; Karaca ve Urhan, 2024b). Antalya ilini sırasıyla Hatay (5 tür), Isparta (4 tür), Burdur, Mersin (3'er tür) ve Adana (2 tür) takip etmektedir. Kahramanmaraş ve Osmaniye illerinden ise şimdiye kadar kaydedilmiş herhangi bir zerkonid türü bulunmamaktadır.

Yurdumuzda zerkonidler üzerine ilk çalışma 1979 yılında Polonyalı Zerconidae uzmanı Czesław Błaszak tarafından gerçekleştirilmiş olup Türkiye'nin farklı bölgelerinden 6 farklı zerkonidin yayılış kayıtları verilmiştir. Bahsi geçen türlerin tamamı bilim dünyasına yeni tür olarak sunulmuş olup bunlar arasında yer alan *Z. agnostus* ve *Z. notabilis* türleri kesin lokasyon belirtilmeden Amanos Dağları'ndan tanımlanmıştır. Amanos Dağları, halk arasında Nur Dağları veya Gavur Dağları adıyla da bilinen ve Kahramanmaraş'taki Sır Baraj Gölü'nden başlayıp Hatay ilinin Samandağ kıyılarına kadar uzanan 175 km uzunlukta dağ silsilesidir (Url-7). Błaszak'ın çalışmasında yer alan "NE slope of Giau Dagi" ifadesi muhtemelen Gavur Dağı'nın kuzeydoğu yamacını ifade etmek amacıyla kullanılmıştır, ancak üstte belirtilen gerekçeyle bu türlere ait kesin lokasyon bilinmemekle birlikte daha önceden gerçekleştirilen bazı çalışmalarda *Z. agnostus* için muhtemel lokalite Adana şeklinde yorumlanmıştır (Karaca, 2017). Burada sunulan çalışmada ise bu türe ait bireylere hem Hatay hem de Mersin illerinde

rastlanmıştır. Diğer taraftan, Hatay ilinden zerkonidlerin ilk yayılış kayıtları bu çalışmada verilmiştir. Ancak, Akdeniz Bölgesi'nde bulunan 8 farklı ilin tamamı için uzun dönemli çalışmalarda farklı habitatlardan toplanacak biyolojik materyallerin analiz edilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Bölgede gelecek yıllarda yapılacak olan sistematik çalışmalar neticesinde halihazırda varlığı bilinen 20 zerkonid türünün sayısal olarak 2-3 kat artması beklenmektedir. Gelecekte bölgeden kaydedilecek türlerin arasında bilim dünyası için birçok yeni türün ve Türkiye akar faunası için birçok yeni kaydın bulunma ihtimali yüksektir.

Bölgeden varlığı bildirilen türlerden *P. balikesirensis*, *P. mersinensis*, *P. yavuzi*, *Z. agnostus*, *Z. ayyıldızı*, *Z. burdurensis*, *Z. cokelezicus*, *Z. fethiyensis*, *Z. huseyini*, *Z. kallimcii*, *Z. kasensis*, *Z. muglaensis*, *Z. notabilis*, *Z. quadricavum* ve *Z. tefenniensis* türlerinin tip yerleri (terra typica) Türkiye'dir. Bu türlerden *P. yavuzi*, *Z. agnostus* ve *Z. notabilis* ülkemize yakın olan alanlardan da bilinmektedir. Bahsi geçen bu 3 tür haricindeki tip yeri Türkiye olan 2 *Prozercon* ve 10 *Zercon* türü ülkemize endemiktir. Akdeniz Bölgesi'nden bu çalışmada bildirilen 20 farklı zerkonidin 12'si sadece ülkemize endemik olduğundan zerkonidlerin bu bölgedeki endemizm oranı %60 olarak açıklanabilir. Diğer 8 tür ise Avrupa, Kuzey Afrika ve Orta Doğu ölçeğinde daha geniş yayılışa sahip olan türlerdir.

KAYNAKÇA

- Błaszak, C. (1979a). Systematic studies on the family Zerconidae. IV. Asian Zerconidae (Acari, Mesostigmata). *Acta Zoologica Cracoviensia*, Kraków, 24 (1), 3-112.
- Błaszak, C. (1979b). Tunisian Zerconidae (Acari: Gamasida). *Folia Entomologica Hungarica*, 32 (2), 13-26.
- Demirdöven, A., Urhan, R., Karaca, M. (2024). *Zercon kasensis* sp. nov., a new mite species (Acari: Zerconidae) from Southwestern Türkiye. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 17 (3), in press.
- Erman, O., Doğan, S., Ayyıldız, N., Özkan, M. (2024). Checklist of the mites (Acari) of Türkiye. Third supplement. *Acarological Studies*, 6 (2), 81-111.
- Karaca, M. (2017). Türkiye'den *Zercon agnostus* Błaszak (Acari: Zerconidae) nimflerinin ilk tanımları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (3), 861-871.
- Karaca, M., Urhan, R. (2017). New localities of zerconid mites from Turkey (Acari: Zerconidae). *MUNIS Entomology & Zoology*, 12 (1), 31-37.
- Karaca, M., Urhan, R. (2023a). Balıkesir'den kaydedilmiş zerkonid akarlar (Acari: Zerconidae). *Cumhuriyetin 100. Yılında Balıkesir'in Kültürel Birikimi, Tarım, Gıda ve Hayvancılık*. 1st ed. Konya: Palet Yayınları, 125-144.
- Karaca, M., Urhan, R. (2024a). Karadeniz Bölgesi'nden kaydedilmiş zerkonid akarlar (Acari: Zerconidae). II. Uluslararası Marmara Bilimsel Çalışmalar Kongresi, İstanbul, Türkiye, 13-15 Aralık 2024, baskıda.

- Karaca, M., Urhan, R. (2024b). Saklıkent Milli Parkı'nın zerconid akar faunası (Acari: Mesostigmata). VI. Uluslararası Türk Dünyası Fen Bilimleri ve Mühendislik Kongresi, Bakü, Azerbaycan, 19-21 Aralık 2014, baskıda.
- Karaca, M., Ordoukhanian, C., Ahadiyat, A., Urhan, R. (2017). New occurrences of zerconid mites (Acari: Zerconidae) from Iran, with checklist and a key to the Iranian species. *International Journal of Acarology*, 43 (8), 603-611.
- Urhan, R. (1997). Two new species of mites of the family Zerconidae from Turkey (Acari, Mesostigmata). *Genus*, 8 (3-4), 735-742.
- Urhan, R. (1998a). Some new species of the family Zerconidae (Acari: Mesostigmata) from Turkey. *Journal of Natural History*, 32 (4), 533-543.
- Urhan, R. (2000). New species of zerconid mites (Acari, Gamasida, Zerconidae) from Turkey. *Acarologia*, 41 (1-2), 69-75.
- Urhan, R. (2010). Two new species of zerconid mites from Turkey. *Zoology in the Middle East*, 50 (1), 111-118.
- Urhan, R. (2017). İç Ege Bölgesi'nde zerconid akarlar (Acari, Mesostigmata, Zerconidae) üzerine sistematik araştırmalar. TÜBİTAK 113Z717 Proje Sonuç Raporu, 391 s.
- Urhan, R. (2024). Mites of the family Zerconidae (Acari: Mesostigmata) in Denizli Province. *Comprehensive Approaches in Biology: From Molecular Targets to Ecosystem Analysis*. 1st ed. Klaipeda: SRA Academic Publishing, 107-136.
- Urhan, R., Duran, E. H. (2019). A new record of genus *Zercon* (Acari, Zerconidae) for Turkish fauna: *Zercon saphenus* Błaszak, 1979. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5 (3), 24-28.
- Urhan, R., Karaca, M. (2023). Species diversity of the mite family Zerconidae (Acari: Mesostigmata) in İzmir province. *Multifaceted Academic Perspective: Basic Sciences and Engineering Research*. 1st ed. Klaipeda: SRA Academic Publishing, 1-26.
- Urhan, R., Karaca, M. (2024a). Muğla'dan *Zercon* cinsinin (Acari, Zerconidae) yeni bir türü: *Zercon fethiyensis* sp. nov. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (6), 1267-1274.
- Urhan, R., Karaca, M. (2024b). Muğla ilinde zerconid akarlar (Acari: Zerconidae) üzerine sistematik çalışmalar. Ankara: Bidge Yayınevi, baskıda.
- Urhan, R., Karaca, M., Duran, E. H., Kızılkaya, E. (2013). Antalya'dan Türkiye faunası için yeni bir zerconid akar (Acari: Zerconidae) türü: *Zercon salebrosus*. 1. Ulusal Zooloji Kongresi, Nevşehir, Türkiye, 28-31 Ağustos 2013, s. 70.
- Url-1: https://tr.wikipedia.org/wiki/Akdeniz_Bölgesi (Erişim Tarihi: 10.12.2024).
- Url-2: <https://www.sosyalbilimciler.com/forum/media/akdeniz-bolgesi-haritasi-png.46/> (Erişim Tarihi: 20.12.2024).

Url-3: <https://www.koylerim.com/belen-sarimazi-koyu-13735g.htm> (Erişim Tarihi: 19.12.2024).

Url-4: <https://www.koylerim.com/defne-dover-koyu-13753g.htm> (Erişim Tarihi: 19.12.2024).

Url-5: <https://fotopanorama360.com/mersin-silifke-cennet-ve-cehennem-magaralari/> (Erişim Tarihi: 19.12.2024).

Url-6: <https://www.mersinsinemaofisi.com/tr/mut-servatul-gecidi/> (Erişim Tarihi: 19.12.2024).

Url-7: https://tr.wikipedia.org/wiki/Nur_Dağları (Erişim Tarihi: 22.12.2024).

HONAZ DAĞI MİLLİ PARKI'NDA ZERKONİD AKARLARIN (ACARI: ZERCONIDAE) YÜKSEKLİK VE HABİTAT TERCİHLERİ

Prof. Dr. Raşit URHAN

Pamukkale Üniversitesi/Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Denizli
rurhan@pau.edu.tr - 0000-0002-6548-7927

Doç. Dr. Mehmet KARACA

Pamukkale Üniversitesi/Denizli Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Denizli
karacamehmet@pau.edu.tr - 0000-0002-3249-4215

ÖZET

Toprak ekosistemindeki mikroskobik canlı gruplarından biri olan akarlar, humus oluşumu ve fungal ve bakteriyel metabolizmanın uyarılması gibi önemli rollere sahiptir. Bu çalışmada Türkiye'den iyi bilinen akar familyalarından biri olan zerkonidlerin Honaz Dağı Milli Parkı'ndaki yükseklik ve habitat tercihleri araştırılmıştır. Ülkemizdeki 49 milli parktan biri olan bu korunan alanın Zerconidae faunası 2010 yılında tarafımızca belirlenmiştir. Buna göre, Honaz Dağı Milli Parkı'ndan 11 farklı zerkonid türü bildirilmiştir. Bunlardan 3'ü *Prozercon* cinsinden (*P. celali*, *P. denizliensis*, *P. tragardhi*), 8'i ise *Zercon* cinsinden (*Z. alattini*, *Z. ayyildizi*, *Z. colligans*, *Z. denizliensis*, *Z. honazicus*, *Z. huseyini*, *Z. kallimcii*, *Z. mehmeturhani*) daha önce tarafımızca alandan kaydedilmiş olan türlerdir. Dünya genelinde zerkonidler üzerinde sistematik ve taksonomik çalışmalar ön plana çıkmakla birlikte, bu gruba ait ekolojik veriler oldukça sınırlıdır. Bu bağlamda, Honaz Dağı Milli Parkı'ndan bildirilen tüm zerkonid akarlarının yükseklik ve habitat tercihleri bu çalışmada sunulmuştur. Kasım 2008-Temmuz 2009 dönemleri arasında alanda 161 farklı lokaliteden 365 biyolojik materyalin toplandığı anlaşılmıştır. Alanda yapılan örneklemeler 24 farklı habitat tipinden ve 490 ile 2500 metre rakım aralıklarından alınmıştır. İlgili veriler alandan kaydedilen zerkonid türleriyle eşleştirilmiştir. Sonuç olarak zerkonidlerin çeşitli rakım ve habitat tercihlerine sahip oldukları öngörülmüştür. Zerkonidlerin farklı toprak ekosistemlerindeki yayılışlarını ekolojik açıdan daha iyi anlayabilmek için daha ayrıntılı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmanın, zerkonidlerin ekolojisine katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Mesostigmata, ekoloji, Denizli, Türkiye.

ALTITUDE AND HABITAT PREFERENCES OF ZERCONID MITES (ACARI: ZERCONIDAE) IN THE HONAZ MOUNTAIN NATIONAL PARK, TÜRKİYE

ABSTRACT

Mites, one of the microscopic living groups in the soil ecosystem, have important roles such as humus formation and stimulation of fungal and bacterial metabolism. In this study, the altitude and habitat preferences of zerconids, one of the well-known mite families from Türkiye, were investigated in Honaz Mountain National Park. This protected area is one of the 49 national parks in our country and the Zerconidae fauna of the area was determined by us in 2010. Three of them are from the genus *Prozercon* (*P. celali*, *P. denizliensis*, *P. tragardhi*) and eight are from the genus *Zercon* (*Z. alattini*, *Z. ayyildizi*, *Z. colligans*, *Z. denizliensis*, *Z. honazicus*, *Z. huseyini*, *Z. kallimcii*, *Z. mehmeturhani*) which were previously recorded by us from the area. Although systematic and taxonomic studies on zerconids are prominent worldwide, ecological data belonging to this group are quite limited. In this context, the altitude and habitat preferences of all zerconid mites reported from Honaz Mountain National Park are presented in this study. It was understood that 365 biological materials were collected from 161 different localities in the area between November 2008 and July 2009. The samplings were done from 24 different habitat types and altitude ranges between 490 and 2500 meters in the study area. The relevant data were matched with the zerconid species recorded from the study area. As a result, it was predicted that zerconids have various altitude and habitat preferences. More detailed studies are needed to better understand the distribution of zerconids in different soil ecosystems from an ecological perspective. This study is aimed to contribute to the ecology of zerconids.

Key Words : Mesostigmata, ecology, Denizli, Türkiye.

1. GİRİŞ

Denizli ili, Honaz ilçesi sınırları içerisinde yer alan Honaz Dağı, 30.03.1995 tarihinde 95/6717 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile milli park alanı olarak ilan edilmiştir. Ülkemizdeki 50 milli park alanından biri olan bu bölge 9.616 hektarlık alana sahiptir. Honaz Dağı Milli Parkı'nda hem flora hem de fauna türleri açısından bir zenginlik göze çarpmaktadır. Alanın coğrafik konumu, topografik, jeolojik ve hidrolojik özellikleri, farklı niteliklerde ekosistemleri içermesi gibi özelliklerinden dolayı milli park sahası içerisinde birçok farklı gruptan bitki ve hayvan türü yayılımı göstermektedir (Görsel 1). Alandan kaydedilen 964 bitki türünden 122'si Türkiye için endemiktir (Url-1). Bitki türlerine ek olarak *Zercon honazicus* ve *Euscorpius honazicus* gibi

hayvan türleri de alandan kaydedilen ve ülkemize endemik olduğu bilinen hayvanlar arasındadır (Urhan, 2009; Tropea vd., 2016).

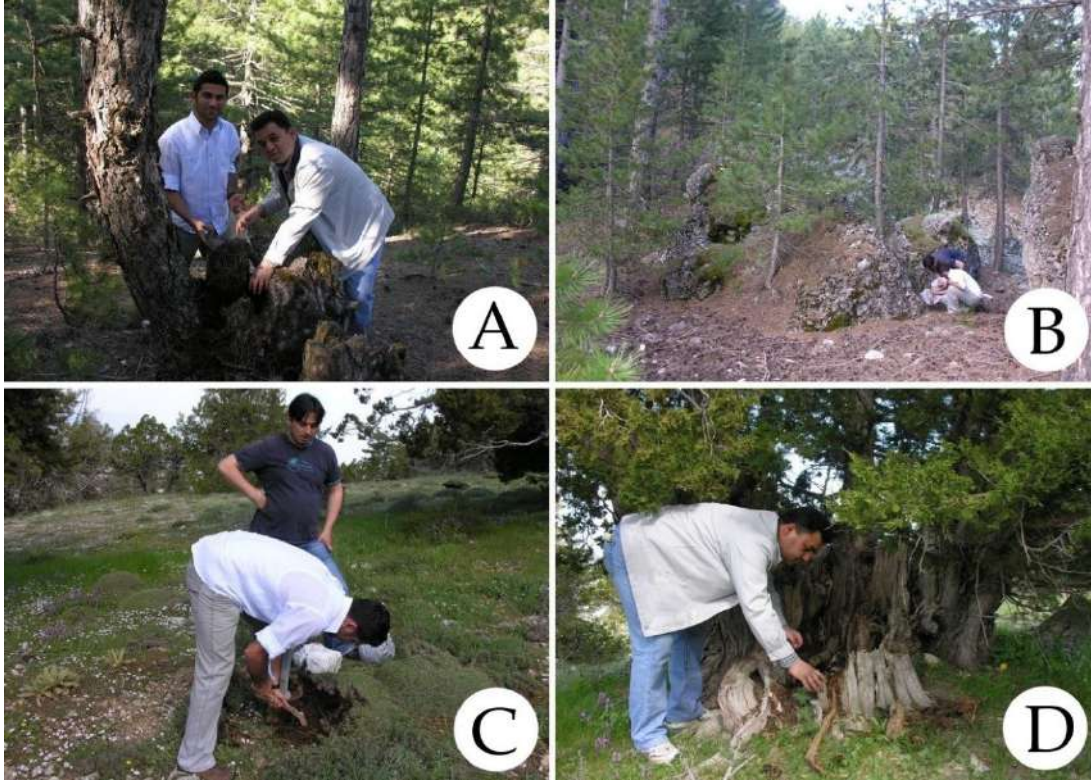
Honaz Dağı Milli Parkı'nın Zerconidae faunası 2008-2009 yıllarında alanda gerçekleştirilen arazi çalışmaları neticesinde belirlenmiştir. Alandan 11 farklı tür (3 *Prozercon*: *P. celali*, *P. denizliensis*, *P. tragardi* ve 8 *Zercon*: *Z. alattini*, *Z. ayyildizi*, *Z. colligans*, *Z. denizliensis*, *Z. honazicus*, *Z. huseyini*, *Z. kallimcii*, *Z. mehmeturhani*) daha önce çalışma sahasından tarafımızca kaydedilmiştir (Urhan vd., 2010). Zerconidler üzerine literatürde birçok sistematik/taksonomik çalışmalar olmasına rağmen, bu grubun ekolojisi hakkındaki veriler oldukça sınırlıdır. Zerconidlerin ekolojisine katkı sağlaması için alandan bildirilen tüm türlerin ve türlere ait olan bireylerin yükseklik ve habitat tercihleri bu çalışmada sunulmuştur.



Görsel 1. Honaz Dağı Milli Parkı'nın havadan çekilmiş bir fotoğrafı (Ur1-2).

2. MATERYAL VE METOT

Honaz Dağı Milli Parkı'ndan 2008-2009 yıllarında toplanan biyolojik materyallere dayanarak (Görsel 2) alandan kaydedilen tüm zerconidler tekrar gözden geçirilmiştir. Alandaki 161 farklı lokaliteden toplam 365 örnekleme yapıldığı, biyolojik materyallerin deniz seviyesinden 490 ile 2500 metre arasındaki rakımlardan toplandığı ve çalışma sahasındaki 23 farklı habitat tipinden örneklerin toplandığı anlaşılmıştır. Dişi, erkek, deutonimf ve protonimf örnekleri için sırasıyla ♀, ♂, DN, PN sembolleri/kısaltmaları kullanılmıştır.



Görsel 2. Honaz Dağı Milli Parkı'ndaki farklı habitatlarda (A-B: kızılçam, C: geven, D: ardıç) 2008-2009 yıllarında gerçekleştirilen arazi çalışmalarına ait fotoğraflar.

3. BULGULAR

Çalışma alanından daha önce 11 farklı zerconid türünün rapor edildiği bilinmektedir (Çizelge 1). Bu türlere ait olan toplam 11.154 bireyin Honaz Dağı Milli Parkı'ndaki yükseklik ve habitat tercihlerini ortaya koyabilmek için alandan kaydedildikleri lokaliteler tekrar incelenmiştir. Farklı yüksekli ve habitat tiplerinde bulunan zerconidlerin tercihleri tablolara (Çizelge 2 ve 3) işaretlenmiş ve bu bölümde sunulmuştur.

Çizelge 1. Çalışma alanındaki zerconid akarların tür çeşitliliği ve incelenen birey sayıları.

Tür	İncelenen Bireyler	Toplam Birey Sayısı
<i>P. celali</i>	12 ♀, 3 ♂	15
<i>P. denizliensis</i>	50 ♀, 16 ♂, 2 DN	68
<i>P. tragardhi</i>	3 ♀, 4 ♂, 1 DN	8
<i>Z. alattini</i>	45 ♀, 7 ♂, 6 DN	58
<i>Z. ayyildizi</i>	51 ♀, 35 ♂	86
<i>Z. colligans</i>	4234 ♀, 2074 ♂, 899 DN, 299 PN	7506
<i>Z. denizliensis</i>	201 ♀, 186 ♂, 147 DN, 36 PN	570
<i>Z. honazicus</i>	443 ♀, 214 ♂, 106 DN, 46 PN	809
<i>Z. huseyini</i>	237 ♀, 60 ♂, 1 PN	298
<i>Z. kallimcii</i>	992 ♀, 395 ♂, 272 DN, 75 PN	1734

Z. mehmeturhani	1 ♀, 1 ♂	2
-----------------	----------	---

3.1. Alandaki zerconidlerin yükseklik tercihleri

Alandan toplanan biyolojik materyaller için örneklerin toplandığı tüm lokaliteler Çizelge 2’de gösterilen 100 metrelik aralıklara bölünmüştür. Akaroloji laboratuvarında yapılan teşhis işlemlerinin ardından alandan kaydedilen tüm zerconidlerin tespit edildikleri yükselti Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Honaz Dağı Milli Parkı’nda zerconid akarların tespit edildiği yükselti aralıkları.

Rakım Aralıkları (deniz seviyesinden yükseklik-m)	Türler										
	<i>P. celali</i>	<i>P. denizliensis</i>	<i>P. tragardihi</i>	<i>Z. alattini</i>	<i>Z. ayıldizi</i>	<i>Z. colligans</i>	<i>Z. denizliensis</i>	<i>Z. honazicus</i>	<i>Z. huseyini</i>	<i>Z. kallimci</i>	<i>Z. mehmeturhani</i>
400-500						X					
500-600		X				X	X				
600-700		X				X					
700-800		X				X			X		
800-900											
900-1000		X				X			X		
1000-1100	X	X	X	X	X	X			X		
1100-1200						X	X		X		
1200-1300		X				X		X	X		
1300-1400					X	X	X	X	X		
1400-1500											
1500-1600						X	X	X	X	X	
1600-1700							X		X	X	X
1700-1800								X	X	X	
1800-1900								X		X	
1900-2000											
2000-2100			X			X	X	X	X	X	
2100-2200											
2200-2300								X		X	
2300-2400											
2400-2500								X		X	

Çizelge 2’ye göre, *P. celali*, *Z. alattini* ve *Z. mehmeturhani* türüne ait bireyler tek bir yüksekli aralığında bulunmuştur. *Z. colligans* türüne ait bireylerin ise en geniş dikey dağılıma (490-2100 m arasında) sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, *Z. kallimci* türüne ait bireyler yalnızca 1500 metre ve üzeri rakımlarda tespit edilmiştir. Diğer zerconidler için yüksekli aralıkları açısından belirgin bir tercih bulunmamaktadır. Genellikle her yüksekli aralığında en az bir zerconid türüne ait bireylere rastlanmıştır, ancak 1400-1500, 1900-2000 ve 2300-2400 m aralıklarında herhangi bir zerconid bireyi bulunamamıştır. Diğer bir ifadeyle, çalışma alanında Zerconidae türlerinin tespit edilemediği 3 farklı yüksekli aralığı bulunmaktadır.

3.2. Alandaki zerkonidlerin habitat tercihleri

Zerkonid akarları içeren materyallerin toplanması için Honaz Dağı Milli Parkı sınırları içerisindeki uygun habitatlardan (genellikle ormanlık alanlar) örneklerin 23 farklı habitattan (pişik geveni, badem, geven, çitlembik, defne yapraklı laden, alıç, funda, ceviz, ardıç, katran ardıç, karaçalı, kızılçam, karaçam, menengiç, çınar, ahlat, saçlı meşe, kermes meşesi, mazı meşesi, kuşburnu, böğürtlen, söğüt ve yosun) toplandığı anlaşılmıştır. Araştırma sahasında tespit edilen tüm zerkonidlerin bulunduğu habitat tipleri Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Honaz Dağı Milli Parkı'nda zerkonid akarların tespit edildiği habitat tipleri.

Habitat Tipleri	Türler										
	<i>P. celali</i>	<i>P. denizliensis</i>	<i>P. tragardhi</i>	<i>Z. alattini</i>	<i>Z. ayyildizi</i>	<i>Z. colligans</i>	<i>Z. denizliensis</i>	<i>Z. honazicus</i>	<i>Z. huseyini</i>	<i>Z. kallimci</i>	<i>Z. mehmeturhani</i>
<i>Acantholimon acerosum</i>								X		X	
<i>Amygdalus communis</i>						X				X	
<i>Astragalus microcephalus</i>			X	X		X	X	X	X	X	X
<i>Celtis sp.</i>						X					
<i>Cistus laurifolius</i>						X	X		X		
<i>Crataegus monogyna</i>						X		X	X		
<i>Erica sp.</i>		X				X					
<i>Juglans regia</i>		X				X					
<i>Juniperus communis</i>			X			X	X	X	X	X	
<i>Juniperus oxycedrus</i>	X				X	X	X	X	X		
<i>Paliurus spina-christi</i>							X	X		X	
<i>Pinus brutia</i>		X				X	X		X		
<i>Pinus nigra</i>		X			X	X	X	X	X	X	X
<i>Pistacia terebinthus</i>						X					
<i>Platanus orientalis</i>		X				X					
<i>Pyrus elaeagrifolia</i>						X	X				
<i>Quercus cerris</i>						X			X		
<i>Quercus coccifera</i>		X	X	X		X	X	X	X	X	
<i>Quercus infectoria</i>						X			X		
<i>Rosa canina</i>						X					
<i>Rubus sanctus</i>		X				X					
<i>Salix sp.</i>						X					
Yosun (tanımsız)		X			X	X	X		X	X	

Çizelge 3'e göre, *P. celali* bireyleri tek bir habitat tipinde, *Z. alattini* ve *Z. mehmeturhani* bireyleri iki farklı habitat tipinde, *P. tragardhi* ve *Z. ayyildizi* bireyleri ise üç farklı habitat

tipinde bulunmuştur. Ayrıca, *Z. colligans* bireyleri 21, *Z. huseyini* bireyleri 11, *Z. denizliensis* bireyleri 10, *P. denizliensis*, *Z. honazicus* ve *Z. kallimcii* bireyleri ise 8'er farklı habitat tipiyle eşleştirilmiştir. Çalışma alanında farklı habitat tiplerinde bulunan Zerconidae türleri dikkate alındığında, en yüksek çeşitlilik sırasıyla geven, karaçam ve kermes meşesi habitatlarında (her üçünde de 8 farklı zerkonid türü), ardıç, katran ardıcı ve yosun habitatlarında (her ikisinde de 6 farklı zerkonid türü) gözlenmiştir. Öte yandan, çitlembik, menengiç, kuşburnu ve söğüt habitatlarında yalnızca bir zerkonid türüne ait bireylere rastlanmıştır. Örneklerin toplandığı habitatların tamamında en az bir zerkonid türüne ait bireyler bulunmuştur, bu nedenle çalışma alanında Zerconidae türlerinin tespit edilemediği habitat tipi bulunmamaktadır.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Son yıllarda ülkemizde zerkonid akarlar üzerine farklı alanlarda çeşitli sistematik çalışmalar yapılmış ve çeşitli illere ait tür listeleri ortaya çıkarılmıştır. Örneğin İstanbul (Duran ve Urhan, 2017), Afyonkarahisar, Uşak, Kütahya (Urhan ve Duran, 2019), Manisa (Urhan ve Karaca, 2022), İzmir (Urhan ve Karaca, 2023a), Aydın (Urhan ve Karaca, 2023b), Balıkesir (Karaca ve Urhan, 2023a), Tekirdağ (Karaca ve Urhan, 2023b), Kırklareli (Karaca ve Urhan, 2023c), Edirne (Karaca ve Urhan, 2023d), Denizli (Urhan, 2024) ve Muğla (Urhan ve Karaca, 2024) illeri bu kapsamda değerlendirilmiştir. İl bazında gerçekleştirilen bu çalışmalara ek olarak bölgesel bazda yürütülen çalışmalar da bulunmaktadır (Karaca ve Urhan, 2024a, b). Ancak, zerkonidlerin ekolojisini daha iyi anlayabilmek adına sistematik çalışmalara ek olarak farklı parametrelerin ölçüleceği/araştırılacağı ekolojik çalışmalara da ihtiyaç duyulmaktadır.

Mevcut çalışmada Honaz Dağı Milli Parkı'ndaki Zerconidae örneklerinin rakım ve habitat tercihleri araştırılmıştır. Bu korunan alanın zerkonidlerin çeşitliliği daha önceki yıllarda alanda yapılan çalışmalar neticesinde ortaya çıkarılmasına rağmen, ilgili türlere yönelik daha önceden kaydedilmemiş bazı ekolojik veriler bu çalışmada ortaya konmuştur. Elde edilen veriler ışığında zerkonid akarlarının çeşitli yükselti ve habitat tercihleri olduğu öngörülmektedir. Ancak, bu ekolojik tercihlerin nedenlerini açıklığa kavuşturabilmek için daha detaylı araştırmalara da ihtiyaç olduğu aşikardır. Mevcut çalışmanın Zerconidae familyasının ekolojisine katkıda bulunması amaçlanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından 108T279 numaralı proje ile finansal olarak desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- Duran, E. H., Urhan, R. (2017). Zerconid mites (Acari, Zerconidae) in İstanbul, with four new records for the Turkish fauna. *Turkish Journal of Zoology*, 41 (5), 931-939.
- Karaca, M., Urhan, R. (2023a). Balıkesir'den kaydedilmiş zerkonid akarlar (Acari: Zerconidae). *Cumhuriyetin 100. Yılında Balıkesir'in Kültürel Birikimi, Tarım, Gıda ve*

- Hayvancılık, 1st ed., Bayyigit, M., Azman, M.A., Türker, S., Çanakcı, M., Yüksel, Y., Abdelghany, A. H. A. (Eds.), Palet Yayınları, Konya, Türkiye, 125-144.
- Karaca, M., Urhan, R. (2023b). Tekirdağ ilinin zerkonid akar faunası (Acari: Zerconidae). 1. Bilsel Uluslararası Harput Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Elazığ, Türkiye, 25-26 Kasım, Kongre Kitabı, Erpay, İ., Sümer N., (Eds.), Bilgesina Yayınevi, 192-205.
- Karaca, M., Urhan, R. (2023c). Kırklareli ilinin zerkonid akar faunası (Acari: Zerconidae). 2. Bilsel Uluslararası Ahlat Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Bitlis, Türkiye, 9-10 Aralık, Kongre Kitabı, Erpay, İ., Sümer N., (Eds.), Bilgesina Yayınevi, 962-976.
- Karaca, M., Urhan, R. (2023d). Edirne ilinin zerkonid akar faunası (Acari: Zerconidae). Ege Zirvesi 10. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, İzmir, Türkiye, 22-24 Aralık, Kongre Kitabı, Çiçek, H. (Ed.), Academy Global Publishing House, 627-636.
- Karaca, M., Urhan, R. (2024a). Karadeniz Bölgesi'nden kaydedilmiş zerkonid akarlar (Acari: Zerconidae). II. Uluslararası Marmara Bilimsel Çalışmalar Kongresi, İstanbul, Türkiye, 13-15 Aralık, Kongre Kitabı, baskıda.
- Karaca, M., Urhan, R. (2024b). Akdeniz Bölgesi'nden kaydedilmiş zerkonid akarlar (Acari: Zerconidae). Ege Zirvesi 12. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, İzmir, Türkiye, 26-30 Aralık, Kongre Kitabı, baskıda.
- Tropea, G., Yağmur, E. A., Karampatsou, L., Parmakelis, A., Yeşilyurt, F. (2016). A new species of *Euscorpius* Thorell, 1876 from Mount Honaz in southwestern Turkey (Scorpiones: Euscorpiidae). *Euscorpius*, 222, 1-14.
- Urhan, R. (2009). *Zercon honazicus* sp. n., a new species of mite from Turkey (Acari: Zerconidae). *Zoology in the Middle East*, 48 (1), 97-100.
- Urhan, R. (2024). Mites of the Family Zerconidae (Acari: Mesostigmata) in Denizli Province. In: *Comprehensive Approaches in Biology: From Molecular Targets to Ecosystem Analysis*, 1st ed., Beram, R. C. (Ed.), SRA Academic Publishing, Klaipeda, Lithuania, Chapter 5, 107-136.
- Urhan, R., Duran, E. H. (2019). Zerconid mites (Acari, Zerconidae) in Inner Aegean Region, with a new record for the Turkish fauna. *Zootaxa*, 4568 (2), 323-336.
- Urhan, R., Karaca, M. (2022). Manisa ilinin zerkonid akar faunası (Acari: Mesostigmata: Zerconidae). *Manisa Akademik Araştırmalar Işığında (Fen Bilimleri & Coğrafya & İktisat)*, 1st ed., Abalı, Y., Minareci, O., Çam Kaynar, S., İncedere, L. (Eds.), Berikan Yayınevi, Ankara, Türkiye, Volume 4, 208-234.
- Urhan, R., Karaca, M. (2023a). Species diversity of the mite family Zerconidae (Acari: Mesostigmata) in İzmir province. In: *Multifaceted Academic Perspective: Basic Sciences and Engineering Research*, 1st ed., Demirer, A. (Ed.), SRA Academic Publishing, Klaipeda, Lithuania, Chapter 1, 1-26.
- Urhan, R., Karaca, M. (2023b). Aydın ilinin zerkonid akar faunası (Acari: Mesostigmata: Zerconidae). *Çok Yönlü Akademik Perspektif: Temel Bilimler Araştırmaları*, 1st ed., Beram, R.C. (Ed.); SRA Academic Publishing, Klaipeda, Lithuania, Chapter 5, 89-116.

Urhan, R., Karaca, M. (2024). Muğla ilinde zerkonid akarlar (Acari: Zerconidae) üzerine sistematik çalışmalar. Bidge Yayınevi, Ankara, Türkiye, baskıda.

Urhan, R., Karaca, M., Öztaş, M., Bulut, D. R., Tepe, M. (2010). Honaz Dağı Milli Parkı (Denizli)'nın zerkonidleri (Acari: Mesostigmata: Zerconidae). 20. Ulusal Biyoloji Kongresi, Denizli, Türkiye, 21-25 Haziran 2010, Bildiriler Kitabı, Şen, A. (Ed.), 831-832.

Url-1: <https://ekotaban.tarimorman.gov.tr/alan/1810> (Erişim Tarihi: 26.12.2024).

Url-2: <https://www.kampp.in/kamp-alani/honaz-dagi-milli-parki> (Erişim Tarihi: 22.12.2024).

***Carduus nutans* L. (ASTERACEAE)'NİN LİPOKSİJENAZ, α -AMİLAZ, TİROZİNAZ VE KSANTİN OKSİDAZ İNHİBİTÖR ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Doç. Dr. Hülya DOĞAN

Yozgat Bozok Üniversitesi, Kenevir Araştırmaları Enstitüsü, Tarım ve Gıda Anabilim Dalı
hulya.dogan@bozok.edu.tr ORCID ID: 0000-0003-1970-4123

Prof. Dr. Hatice BAŞ

Yozgat Bozok Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü
hatice.bas@bozok.edu.tr ORCID ID: 0000-0001-8296-0360

ÖZET

Carduus nutans L. (Asteraceae), halk arasında misk deve dikenini olarak bilinen bu bitki, özellikle çeşitli fizyolojik süreçlere dahil olan anahtar enzimleri inhibe etme potansiyeli nedeniyle uzun süredir tıbbi özellikleriyle incelenmektedir. Bu çalışma, *C. nutans* ekstraktının lipooksijenaz (LOX), α -amilaz, tirozinaz ve ksantin oksidaz (XO) üzerindeki inhibe edici etkilerini değerlendirmektedir. Bu enzimler, iltihaplanma yanıtları, metabolik bozukluklar ve oksidatif stresle ilişkilidir. İn vitro testler kullanılarak, su ekstraktının bu enzimlerin aktivitesini inhibe etme potansiyeli değerlendirilmiştir. Bulgularımız, *C. nutans*'ın su ekstraktının, standart inhibitörlerle kıyaslandığında, LOX, α -amilaz, tirozinaz ve XO üzerinde önemli inhibitör etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Ekstraktın LOX üzerindeki aktivitesi, potansiyel bir anti-inflamatuar etkiye, α -amilaz inhibisyonu ise antidiabetik potansiyele işaret etmektedir. Ayrıca, tirozinaz inhibisyonu, cilt aydınlatma veya depigmentasyon etkileri olabileceğini ve XO inhibisyonu ise antioksidan ve gutla ilgili faydaları olabileceğini düşündürmektedir. Bu bulgular, *C. nutans*'ın iltihaplanma, diyabet, hiperpigmentasyon ve oksidatif stresle ilgili hastalıkların yönetiminde terapötik uygulamaları olan biyolojik aktif bileşiklerin kaynağı olarak farmakolojik potansiyelini desteklemektedir. Bu etkinliklerden sorumlu biyolojik aktif bileşiklerin daha iyi anlaşılması için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Anti-inflamatuar, Antidiabetik, Antioksidan, Tıbbi bitkiler, Enzim inhibitörleri, Farmakolojik potansiyel

EVALUATION OF *Carduus nutans* L. (ASTERACEAE)'S LIPOXYGENASE, α -AMYLASE, TYROSINASE AND XANTHINE OXIDASE INHIBITORY EFFECTS

Abstract

Carduus nutans L. (Asteraceae), commonly known as musk thistle, has long been studied for its medicinal properties, particularly its potential to inhibit key enzymes involved in various physiological processes. This study evaluates the inhibitory effects of *C. nutans* extracts on lipoxygenase (LOX), α -amylase, tyrosinase, and xanthine oxidase (XO), enzymes implicated in inflammatory responses, metabolic disorders, and oxidative stress. Using in vitro assays, we assessed the potency of water extract in inhibiting the activity of these enzymes. Our results demonstrate that the water extract of *C. nutans* exhibited significant inhibitory effects on LOX, α -amylase, tyrosinase, and XO, comparable to standard inhibitors. The extract's activity against LOX suggests a potential anti-inflammatory effect, while its α -amylase inhibition points to antidiabetic potential. Furthermore, the tyrosinase inhibition suggests possible skin-lightening or depigmentation effects, and XO inhibition implies antioxidant and gout-related benefits. These findings support the pharmacological potential of *C. nutans* as a source of bioactive compounds with therapeutic applications in managing inflammation, diabetes, hyperpigmentation, and oxidative stress-related disorders. Further research into the bioactive compounds responsible for these activities is warranted to better understand the therapeutic potential of this plant species.

Keywords: Anti-inflammatory, Antidiabetic, Antioxidant, Medicinal plants, Enzyme inhibitors, Pharmacological potential

1. INTRODUCTION

The Asteraceae family, with its annual, biennial or perennial herbaceous plants, is the most widespread family of flowering plants worldwide, representing over 1911 genera and over 32913 species. The Asteraceae family, which has an endemism rate of 38% in the Turkish flora, is represented by 1336 species, including recent additions. There is a milky liquid called latex in the tissues of plants in this family, and sometimes it is not. The leaves are single or arranged oppositely in the nodes, or all of them are located at the base; the leaf edges are flat, toothed, lobed or deeply divided. The flowers are arranged without a stem on a fleshy base and are numerous. For this reason, the inflorescence is head-shaped and is called capitulum. There is a

circle of bracts forming multiple rows under the capitulum. The flowers are bisexual, only female, only male or neuter. The sepals are pappus-shaped, which is a scale-like, hairy or hairy structure, or they are absent. Petals are united at least at the base; tubular, campanulate, lignified or bilabiate. Male organs 5 in number; stem parts are free, anther parts are united or rarely free. Fruits are single seeded "achene" (Arabacı, 2012; Azizi et al., 2015).

The genus *Carduus* is a perennial plant and belongs to the Asteraceae (Compositae) family. The distinguishing characteristics of the genus *Carduus* are the spines of its leaves, phyllaries, involucre, cypsela, testa, corolla and pappus features (Davis, 1972, Kadereit and Jeffrey, 2018). The *Carduus* genus has 27 taxa, 11 of which are subspecies, in Türkiye, 100 in the world, 9 of which are endemic (Al-Shammari et al., 2015). *C. nutans* L. is known among the public as "musk camel thorn" and, like other representatives of the Asteraceae family, has a widespread use in traditional medicine due to its flavor and biological effects. In Turkish folk medicine, it is used for the treatment of liver and kidney diseases, prostate, bronchitis, leprosy, constipation and malaria (Kozyra et al., 2022). In addition, the plant is preferred as an antioxidant, antipyretic, hypotensive and diuretic. Many studies have shown that medicinal and aromatic plants are rich sources of phytochemicals with many biological effects such as antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory. Aromatic and medicinal plants have various secondary metabolites with therapeutic properties. Recently, antioxidant and antimicrobial activities of plant extracts have formed the basis of many applications in pharmaceuticals, alternative medicines and natural therapy (Abderrahim et al., 2019). Although the pharmaceutical industries have produced a number of new antibiotics, the resistance of microorganisms to these drugs has increased. Some antibiotics have become almost unusable due to drug resistance. As a result, new approaches to microbial control should be considered. Over the years, the World Health Organization has advocated traditional medicines as safe remedies for both microbial and non-microbial diseases (Nenaah, 2013).

This study contributes to determining the importance of *Carduus nutans* L. on enzyme inhibitory activities and provides preliminary information about its usability in pharmacological fields.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Plant Extraction

Plants were collected and samples (aboveground parts) were cleaned and dried utilizing the herbarium procedures of Davis (1972). 10g of plant material was weighed accurately and placed in a clean container. Distilled water was used as the solvent, with a solvent-to-plant ratio 1:10, depending on the desired concentration (Ghosh et al., 2015). The plant material was boiled in distilled water for 20 minutes (Bhojwani et al., 2018). After boiling, the mixture was allowed to cool to room temperature. The cooled extract was then filtered through filter paper or a fine mesh to separate the solid plant material from the aqueous extract (Pradeep et al., 2016). The

final aqueous extract stored in airtight containers and kept in a cool, dark place (Schwabe, 2012).

2.2. Lipoxygenase (LOX) Inhibition Assay

Lipoxygenase inhibition was assessed following standard protocols for in vitro enzyme assays (Dorman et al., 2003; Baylac & Racine, 2003). A solution containing 100 μ L of LOX enzyme was mixed with various concentrations of *C. nutans* extract in a 96-well plate. The reaction was initiated by adding 50 μ L of linoleic acid substrate solution and incubated at 25°C for 5 minutes. Absorbance was measured at 234 nm using a microplate reader, which allowed monitoring of conjugated diene formation. Nordihydroguaiaretic acid (NDGA) was used as a positive control, known for its inhibitory effect on LOX (Saeed et al., 2012).

2.3. α -Amylase Inhibition Assay

α -Amylase inhibition was evaluated using a modified protocol based on previously described methods (Bernfeld, 1955; McCue & Shetty, 2004). The mixture of 100 μ L of α -amylase solution and various concentrations of *C. nutans* extract was incubated at 37°C for 10 minutes, followed by the addition of 100 μ L of 1% starch solution. After another 10-minute incubation, the reaction was stopped with DNS reagent, and the mixture was boiled for 5 minutes. Absorbance was measured at 540 nm to determine reducing sugar levels. Acarbose was used as a positive control, which inhibits α -amylase effectively (Ali et al., 2006).

2.4. Tyrosinase Inhibition Assay

Tyrosinase inhibition was evaluated based on methods adapted from literature (Masuda et al., 2005; Kubo & Kinst-Hori, 1998). In a 96-well plate, 100 μ L of tyrosinase enzyme solution was combined with *C. nutans* extract and incubated at 25°C for 5 minutes. The reaction was initiated by adding 50 μ L of L-DOPA substrate solution, and the plate was incubated for 10 minutes. Absorbance was read at 475 nm to monitor dopachrome formation. Kojic acid was used as a standard inhibitor control, recognized for its tyrosinase inhibition (Vaughn et al., 2010).

2.5. Xanthine Oxidase (XO) Inhibition Assay

XO inhibition was assessed using an established protocol (Nishino et al., 1981; Owen & Johns, 1999). The enzyme (100 μ L) was mixed with various extract concentrations, followed by the addition of 50 μ L of xanthine substrate solution. The reaction was incubated at 37°C for 10 minutes, and absorbance was measured at 295 nm to track uric acid formation. Allopurinol, a known XO inhibitor, served as a positive control (Cos et al., 1998).

3. RESULTS

The results of our study are given in Table 1. Water extract of *Carduus nutans* L. caused 36.01% and 38.29% inhibition in α -amylase and tyrosinase activities, respectively. In addition, the inhibition rates of the extract on lipoxygenase and xanthine oxidase enzymes were 45.86% and 48.41%. The highest inhibitory effect was seen against xanthine oxidase. Free radicals formed in the organism are of endogenous and exogenous origin. Exogenous sources are industrial pollutants, drugs, diet, ionizing radiation, ultraviolet (UV) light, cigarette smoke and

xenobiotics (Çaylak, 2011). In this study, the inhibitory potential of *C. nutans* plant extract was determined as 45.86%.

Table 1: The biological activity of *C. nutans* water extract

	<i>C. nutans</i>	standard
Lipoxygenase, %Inh	45,86	Nodihydroguaiaretic acid, 87
α-Amylase, %Inh	36,01	Acarbose, 99
Tyrosinase, %Inh	38,29	kojic acid, 85
Xanthine Oxidase, %Inh	48,41	allopurinol, 80

α -Glucosidase and α -amylase enzymes have important roles in various physiological and pathological events. They have become potential targets for the discovery and development of drugs that may be useful in the treatment of diseases such as diabetes, cancer, influenza and even AIDS. In particular, α -glucosidase inhibition plays a central role in reducing postprandial hyperglycemia in diabetic patients. Intestinal α -glucosidase inhibitors are currently important therapeutic drugs in reducing postprandial hyperglycemia (Gloster et al., 2007). According to our results, *C. nutans* extract was evaluated for hypoglycemic activity through inhibition of α -amylase. According to Table 1, inhibition of enzyme activity was determined as 36.01%.

Tyrosinase is found in some types of bacteria and molds, plants and some animal organisms, and is present in many living groups, especially fungi. The main substance of melanin is tyrosine. During melanogenesis, which is a complex process involving melanin synthesis, transportation and transfer to keratinocytes, dioxyphenyl alanine (DOPA) is formed by the interaction of Tyrosine and Tyrosinase enzyme. This is then oxidized by the dopa oxidase enzyme, which forms melanin. Since tyrosinase is synthesized only by melanocytic cells, tyrosinase inhibitors specifically inhibit melanogenesis without harming other cells.

To date, many tyrosinase inhibitor components have been obtained from plants, algae and fungi, their structures have been elucidated, and many studies have been conducted on structure-activity (Adak, 2019). Tyrosinase inhibitors have been found to be clinically useful for the treatment of Parkinson's disease as well as some skin diseases associated with melanin hyperpigmentation. It offers a solution for abnormal melanin amounts and aesthetic problems in human skin (Abirami et al., 2014; Yur et al., 2017). It is also used in cosmetics due to its effects on skin health. Tyrosinase enzyme, which is not preferred in the food industry, is used in various industrial areas (paper, textile, pharmaceutical) and some biotechnological purposes from environmental technology, is a strong antioxidant and has the effect of improving coffee flavor (Şimşek and Yemenicioğlu, 2007; Neagu et al., 2018). *C. nutans* extracts showed low tyrosinase (38.29%) inhibitory activity as seen in the Table 1.

The xanthine oxidase enzyme causes the formation of uric acid, which plays an important role in gout disease, and therefore gout disease. Therefore, xanthine oxidase enzyme inhibition is of vital importance in the treatment of gout disease (Pacher et al., 2006). Some flavonoids such as

luteolin, quercetin and myricetin are suggested to inhibit xanthine oxidase. It is thought that xanthine oxidase activity, especially in coronary vessels and interstitial cells, may contribute to ischemia reperfusion injury and inhibition of xanthine oxidase may help prevent superoxide formation (Van Hoorn et al., 2002). The extract demonstrated the highest inhibitory activity (48,41%).

4. CONCLUSION

Based on the inhibitory activities and biologically active compounds in the studies, *Carduus* species can be considered to contribute to the development of new bioactive formulations that can support their biological effects as a treatment method. Plant-derived drugs may be a solution to the adverse effects generally observed in synthetic drugs used for many diseases. It supports the pharmacological potential of *C. nutans* as a source of biologically active compounds with therapeutic applications in the management of diseases related to oxidative stress. However, the mechanisms of in vivo pharmacological activities, bioavailability and related metabolic pathways are not known.

REFERENCES

- Abderrahim, L. A., Taïbi, K., Abderrahim, N. A., Boussaid, M., Rios-Navarro, C., & Ruiz-Saurí, A. (2019). Euphorbia honey and garlic: Biological activity and burn wound recovery. *Burns*, 45(7), 1695-1706.
- Abirami, A., Nagarani, G., & Siddhuraju, P. (2014). In vitro antioxidant, anti-diabetic, cholinesterase and tyrosinase inhibitory potential of fresh juice from *Citrus hystrix* and *C. maxima* fruits. *Food Science and Human Wellness*, 3(1), 16-25.
- Adak, T. (2019). *Kojik asit türevi bileşiklerin tasarımı, sentezi ve melanoma hücrelerine karşı sitotoksiteleri ile tirozinaz inhibisyonu etkilerinin değerlendirilmesi* (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Ali, H., Houghton, P. J., & Soumyanath, A. (2006). α -Amylase inhibitory activity of some Malaysian plants used to treat diabetes; with particular reference to *Phyllanthus amarus*. *Journal of Ethnopharmacology*, 107(3), 449-455.
- Al-Shammari, L. A., Hassan, W. H., & Al-Youssef, H. M. (2015). Phytochemical and biological studies of *Carduus pycnocephalus* L. *Journal of Saudi Chemical Society*, 19(4), 410-416.
- Arabacı, T. (2012). *Carduus* L. In: Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., Babaç, M. T., editors. *Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*. İstanbul, Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını. p. 122–125.
- Azizi, H., Sheidai, M., Norouzi, M. (2015). The species relationship of the genus *Carduus* L. (Asteraceae) based on morphological characters in Iran. *TBJ* 6(20): 123-136.
- Baylac, S., & Racine, P. (2003). Inhibition of 5-lipoxygenase by essential oils and other natural fragrant extracts. *The International Journal of Aromatherapy*, 13(2-3), 138-142.
- Bernfeld, P. (1955). Amylases, α and β . *Methods in Enzymology*, 1, 149-158.
- Bhojwani, M., et al. (2018). Extraction methods for plant-based bioactive compounds. *Indian Journal of Pharmacology*, 50(3), 190-200.

- Cos, P., Hermans, N., & Apers, S. (1998). Anti-inflammatory, xanthine oxidase and radical scavenging activities of some African medicinal plants. *Planta Medica*, 64(04), 476-480.
- Çaylak, E. (2011). Hayvan ve bitkilerde oksidatif stres ile antioksidanlar. *Tip Araştırmaları Dergisi*, 9(1), 73-83.
- Davis, P. H., 1972. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Edinburgh: Edinburgh University Press, 4: 382-387.
- Dorman, H. J. D., Figueiredo, A. C., & Varela, R. (2003). Antioxidant and radical-scavenging properties of essential oils and their constituents. *Food Chemistry*, 41, 459-466.
- Ghosh, P., et al. (2015). Water-based extraction techniques in plant biochemistry. *Phytochemical Analysis*, 26(1), 54-62.
- Gloster, T. M., Meloncelli, P., Stick, R. V., Zechel, D., Vasella, A., & Davies, G. J. (2007). Glycosidase inhibition: an assessment of the binding of 18 putative transition-state mimics. *Journal of the American Chemical Society*, 129(8), 2345-2354.
- Kadereit, J. W., & Jeffrey, C. (2018). *Flowering plants. Eudicots*. Springer International Publishing.
- Kozyra, M., Kukula-Koch, W., & Szymański, M. (2022). Phenolic Composition of Inflorescences of *Carduus nutans* L. *Chemistry & Biodiversity*, 19(3), e202100827.
- Kubo, I., & Kinst-Hori, I. (1998). Tyrosinase inhibitors from Anethole-containing essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(12), 5330-5334.
- Masuda, T., Yamashita, D., & Takeda, Y. (2005). Tyrosinase inhibitors from natural and synthetic sources. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(12), 4381-4385.
- McCue, P., & Shetty, K. (2004). Inhibitory effects of rosmarinic acid extracts on porcine pancreatic α -amylase in relation to type 2 diabetes. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 14(4), 427-432.
- Neagu, E., Radu, G. L., Albu, C., & Paun, G. (2018). Antioxidant activity, acetylcholinesterase and tyrosinase inhibitory potential of *Pulmonaria officinalis* and *Centarium umbellatum* extracts. *Saudi journal of biological sciences*, 25(3), 578-585.
- Nenaah, G. (2013). Antimicrobial activity of *Calotropis procera* Ait.(Asclepiadaceae) and isolation of four flavonoid glycosides as the active constituents. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29, 1255-1262.
- Nishino, T., Okamoto, K., & Eger, B. T. (1981). Crystal structures of mammalian xanthine oxidoreductase. *Nature*, 394(6), 55-59.
- Owen, P. L., & Johns, T. (1999). Xanthine oxidase inhibitory activity of northeastern North American plant remedies used for gout. *Journal of Ethnopharmacology*, 64(2), 149-160.
- Pacher, P. A. L., Nivorozhkin, A., & Szabó, C. (2006). Therapeutic effects of xanthine oxidase inhibitors: renaissance half a century after the discovery of allopurinol. *Pharmacological reviews*, 58(1), 87-114.
- Pradeep, S., et al. (2016). Comparative methods for extracting medicinal plant compounds. *Journal of Herbal Medicine*, 10, 1-6.
- Saeed, N., Khan, M. R., & Shabbir, M. (2012). Antioxidant activity, total phenolic and total flavonoid contents of whole plant extracts of *Torilis leptophylla* L. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 12(1), 1-12.

- Schwabe, K. (2012). Extraction techniques and preservation of plant extracts for medicinal use. *Pharmacognosy Reviews*, 6(11), 112-118.
- Şimşek, Ş., & Yemenicioğlu, A. (2007). Partial purification and kinetic characterization of mushroom stem polyphenoloxidase and determination of its storage stability in different lyophilized forms. *Process Biochemistry*, 42(6), 943-950.
- Van Hoorn, D. E., Nijveldt, R. J., Van Leeuwen, P. A., Hofman, Z., M'Rabet, L., De Bont, D. B., & Van Norren, K. (2002). Accurate prediction of xanthine oxidase inhibition based on the structure of flavonoids. *European journal of pharmacology*, 451(2), 111-118.
- Vaughn, A. R., Branum, A., & Sivamani, R. K. (2010). Effects of kojic acid on tyrosinase activity: Insights for clinical use. *Dermatology Research and Practice*, 8(5), 276-281.
- Yur, S., Tekin, M., Göger, F., Başer, K. H., Özek, T., & Özek, G. (2017). Composition and potential of *Tanacetum haussknechtii* Bornm. Grierson as antioxidant and inhibitor of acetylcholinesterase, tyrosinase, and α -amylase enzymes. *International journal of food properties*, 20(sup3), S2359-S2378.

BÜYÜK BALMUMU GÜVESİNİN, *Anthemis wallii* HUB.-MOR. & REESE (ASTERACEAE) İLE KONTROLÜ

Prof. Dr. Hatice BAŞ

Yozgat Bozok Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü
hatice.bas@bozok.edu.tr- ORCID ID: 0000-0001-8296-0360

Doç. Dr. Hülya DOĞAN

Yozgat Bozok Üniversitesi, Kenevir Araştırmaları Enstitüsü, Tarım ve Gıda Anabilim Dalı
hulya.dogan@bozok.edu.tr- ORCID ID: 0000-0003-1970-4123

ÖZET

Galleria mellonella L. (Lepidoptera: Pyralidae) tüm dünyada balmumuna en çok ve en önde zarar veren böcek olarak bilinmektedir. *Anthemis wallii* bitkisinin büyük balmumu güvesi *Galleria mellonella* larvaları üzerindeki kovucu etkisi üzerine yapılan çalışmanın sonuçları, böcek larvalarının ortalama kovuculuk yüzdesi içinde bir çeşitlilik ortaya koymuştur. İstatistiksel incelemenin sonuçları, yüksek doz uygulamalarının büyük balmumu güvesi larvaları üzerinde itici bir etkiye sahip olduğunu, ancak farklı oranlarda olduğunu doğrulamıştır. Yüzde, artan konsantrasyonla birlikte kademeli olarak genişlemiştir. Bu çalışma için yüzde ölüm değerleri, LC₅₀, LC₉₉ değerleri, SOD, CAT, GPx enzim aktiviteleri ve MDA seviyesi incelenmiştir. Yüzde ölüm ve MDA seviyeleri artarken, enzim aktiviteleri azalmıştır. Bu sonuçlara dayanarak, *Anthemis wallii* ekstraktının *Galleria mellanolle* larvalarında oksidatif strese ve ölüme neden olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: *Galleria* sp., *Anthemis* sp., oksidatif stres

CONTROL OF THE GREATER WAX MOTH, WITH *Anthemis wallii* HUB.-MOR. & REESE (ASTERACEAE)

Abstract

Galleria mellonella L. (Lepidoptera: Pyralidae) is known as the most and the foremost hurtful bug of beeswax all over the world. The results of the study on the repellent impact of the *Anthemis wallii* plant on the larvae of the greater wax moth *Galleria mellonella* appeared a variety within the average percentage of repellency of the insect larvae. The results of the statistical examination affirmed that high dose treatments had a repellent impact on the larvae of the greater wax moth, but at distinctive rates. The percentage expanded gradually with increasing concentration. Percent mortality values, LC50, LC99 values, SOD, CAT, GPx enzyme activities and MDA level were examined for this study. Percent mortality and MDA levels increased, while enzyme activities decreased. Based on these results, it can be said that *Anthemis wallii* extract caused oxidative stress and death in *Galleria mellonella* larvae.

Keyword: *Galleria* sp., *Anthemis* sp., oxidative stress

1. INTRODUCTION

Secondary metabolites are substances that have very different chemical structures and are synthesized in different ways in plants. These metabolites are not directly necessary for the basic functions of plants but are thought to be synthesized for physiological activities as well as for protection from insecticides, oxidant agents and external factors such as ultraviolet radiation (Lattanzio, 2013). The genus *Anthemis* is the second largest genus of the Compositae family, represented by approximately 210 species worldwide. There are 83 taxa in our country, 54% of which are endemic (Güner et al., 2000). In previously published scientific studies, it has been reported that polyphenolic compounds and mono- and sesquiterpenes obtained as a result of phytochemical studies on *Anthemis* species have antioxidant, antiproliferative, antidiabetic, antiprotozoal, and antispasmodic potentials (De Mieri et al., 2017). *Anthemis wallii* Hub. -Mor. & Reese is an endemic species from the Asteraceae family. It is distributed in the Central Western Anatolia, Antalya sub-regions in Türkiye. The buds, flowers and leaves of this plant are used in folk medicine. It is used in the treatment of stomach upset, respiratory diseases, cough, flu and cold, insomnia and sinusitis (Güler et al., 2013).

Toxic chemical substances called pesticides are widely used to destroy pests that negatively affect productivity in products. Unconscious and uncontrolled pesticide use affects not only target organisms but also non-target organisms. Pesticides, whose main purpose is to destroy diseases and pests, cause major problems both ecologically and economically when used

continuously. Therefore, the biology and physiology of the species to which the pesticide will be applied and to determine the appropriate pesticide concentration to control harmful insects without harming nature (Öztürk, 2021). Cultivation of harmful species belonging to the order Lepidoptera on artificial diets allows molecular investigation of some metabolic events at different stages of their ecology and physiology. Therefore, the effects of newly developed insecticides on insects are investigated under laboratory conditions before field application (Tunaz et al., 2003). *Galleria mellonella*, known as the "beehive moth" in our country, belongs to the Pyralidae family of the Lepidoptera order. Various chemical, physical, biological and mechanical methods are used to combat pests in order to increase the yield and quality of the product (Murray, 2019). The greater wax moth (*G. mellonella* L.) causes economic damage to honeybees and is commonly found in low altitude, temperate climate regions where beekeeping is carried out. It is one of the important pests that beekeepers around the world have difficulty in protecting their combs. While the adults, pupae and egg stages of the greater wax moth do not cause damage to the combs, the larvae cause damage at different rates depending on the number of worker bees in the colony under suitable environmental conditions (temperature, humidity, food). The greater wax moth develops in environments where the ambient temperature is above 4 °C and the humidity is around 70% and generally prevents the reuse of the comb by opening tunnels in the interior of stored combs (Oh HaeWoon et al., 1995). Synthetic pesticides cause negative effects on humans, animals and the environment. In order to minimize these harmful effects, ecological production has become important and recently, the use of extracts obtained from various plants as an alternative to pesticides in the fight against harmful insects has come to the fore. Studies conducted in recent years have determined that these substances have fumigant, contact, repellent, feeding and egg-laying effects on insects. Insecticidal activities including fumigant, repellent, attractive, anti-feeding and contact toxicity effects of powders, solution extracts, essential oils and aromatic plant preparations using the whole plant are being investigated (Isman, 2000; Said-Al Ahl, et al., 2017). This study was conducted to determine the repellent effect of *Anthemis wallii* plant on the larvae of the greater wax moth *Galleria mellonella*.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Method for *Galleria mellonella* Cultivation

Cultivation Conditions

A temperature range of 28–30°C was maintained. *Galleria mellonella* larvae thrive in a warm environment that closely resembles the inside of a beehive (Altuntaş et al., 2012). Relative humidity was kept between 60–70%. This helps prevent drying out of larvae and rearing medium (Jindra et al., 2019).

Preparing the Rearing Medium and Introducing Eggs or Larvae: wheat bran, honey, glycerol, and yeast were mixed and Spread this mixture evenly at the bottom of each container to about 1–2 cm thickness. Wax moth eggs or small larvae were placed into the containers with prepared medium.

Monitoring and Maintenance: Containers were checked every 3–4 days to remove dead larvae or moldy food. Small amounts of fresh medium were added periodically to help ensure

larvae have enough nutrients. Larvae typically mature in 20–30 days, after which they will pupate. We used larvae for experiments, so we harvest them just before pupation when they're in the last instar stage.

2.2. Plant Material

Plant species: *Anthemis wallii* was collected from its natural habitat in Uşak, Türkiye and identified by a local botanist.

Collection method: Fresh aerial parts of *Anthemis wallii*, including leaves and flowers, were harvested during the flowering season. The plant material was cleaned of dirt and contaminants and air-dried in the shade for 7–10 days to preserve its chemical composition.

Preparation of Water Extract

The water extract of *Anthemis wallii* was prepared using the following method: The dried aerial parts of *Anthemis wallii* (leaves and flowers) were finely ground using a mechanical grinder (e.g., electric blender or mortar and pestle) to obtain a homogeneous powder. A portion of the ground plant material (e.g., 10 g) was weighed and placed in a clean glass breaker for extraction. A water extract was prepared by adding distilled water to the plant powder at a 1:10 (w/v) ratio. The amount of water used can be adjusted depending on the desired concentration. The mixture was then heated under reflux or stirred at 60°C for 30 minutes to promote the extraction of soluble compounds from the plant material (Ríos et al., 2006). After extraction, the mixture was filtered, and the water extract was concentrated using a rotary evaporator. The water extract was stored in airtight containers at 4°C until further use to prevent degradation or loss of bioactive compounds.

2.3. Insect Rearing, Extract Application, and Tissue Collection

Various concentrations of the extract (40 mg/mL, 30 mg/mL, 20 mg/mL, 10 mg/mL, 5 mg/mL, and 1 mg/mL) were applied to *Galleria mellonella* larvae. The larvae were sterilized with 70% alcohol before the extract was injected into their left hind legs using a microsyringe. Then, the larvae were placed on ice to cool, cut into small pieces, and transferred to Eppendorf tubes containing a homogenization buffer at pH 7.4 (Büyükgüzel & Kalender, 2009; Alvandial et al., 2016). The samples were then homogenized at 4°C and centrifuged for 15 minutes.

2.4. Assay Procedures

Superoxide Dismutase (SOD) Activity Assay: SOD activity was measured using the **NBT (nitroblue tetrazolium) reduction** method, which exploits the ability of SOD to scavenge superoxide radicals and prevent the reduction of NBT (Marklund and Marklund, 1974). The reaction mixture consisted of 50 mM sodium carbonate buffer (pH 10.2), 0.1 mM NBT, 0.2 mM EDTA, and the sample supernatant. The reaction was initiated by adding 0.1 mM hypoxanthine and 0.1 mM xanthine oxidase (final concentrations). The decrease in absorbance was measured at 560 nm after a 30-minute incubation at 25°C.

Catalase (CAT) Activity Assay: Catalase activity was determined by measuring the rate of H₂O₂ decomposition at 240 nm, based on the method by Aebi (1984). The reaction mixture

consisted of 50 mM phosphate buffer (pH 7.0), 10 mM H₂O₂, and sample supernatant. The decrease in absorbance at 240 nm was monitored for 1-2 minutes.

Glutathione Peroxidase (GPx) Activity Assay: GPx activity was measured using the method of Paglia and Valentine (1967), based on the reduction of **NADPH** coupled with the oxidation of **glutathione (GSH)**. The reaction mixture consisted of 100 mM phosphate buffer (pH 7.4), 0.5 mM GSH, 0.2 mM NADPH, 1 U/mL glutathione reductase, and the sample supernatant. The reaction was initiated by adding 1 mM H₂O₂, and the decrease in NADPH absorbance at 340 nm was monitored for 5 minutes. GPx activity was calculated based on the decrease in NADPH and expressed in units per milligram of protein.

Malondialdehyde (MDA) Level Measurement: MDA levels were quantified using the **thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)** assay, which detects the presence of MDA as a by-product of lipid peroxidation. This method is based on the reaction between MDA and **thiobarbituric acid (TBA)** to form a pink chromogen, which can be measured spectrophotometrically (Ohkawa et al., 1979). To 100 µL of the tissue homogenate supernatant, 500 µL of 20% trichloroacetic acid (TCA) was added to precipitate proteins. The mixture was centrifuged at 3,000 × g for 10 minutes. The supernatant was transferred to a new tube, and 500 µL of 0.67% TBA was added. The samples were heated at 95°C for 45 minutes, then cooled to room temperature, and the absorbance was measured at 532 nm.

Protein Quantification

Protein concentrations in the samples were determined using the **Bradford assay** (Bradford, 1976). Protein content was used to normalize enzyme activity and MDA levels.

2.5. Statistical Analysis

Data were expressed as the mean ± standard deviation (SD). Statistical differences between groups were determined using **one-way analysis of variance (ANOVA)** followed by **Tukey's post hoc test**. A **p-value < 0.05** was considered statistically significant.

3. RESULTS and CONCLUSION

The results of the statistical examination affirmed that high dose treatments had a repellent impact on the larvae of the greater wax moth, but at distinctive rates (Table 1 and Table 2). As seen in Figure 1, the mortality rate among larvae increases depending on the increase in the *Anthemis wallii* extract dose used. According to the results, it was determined that there was a statistically significant difference between the death rates ($P > 0.05$).

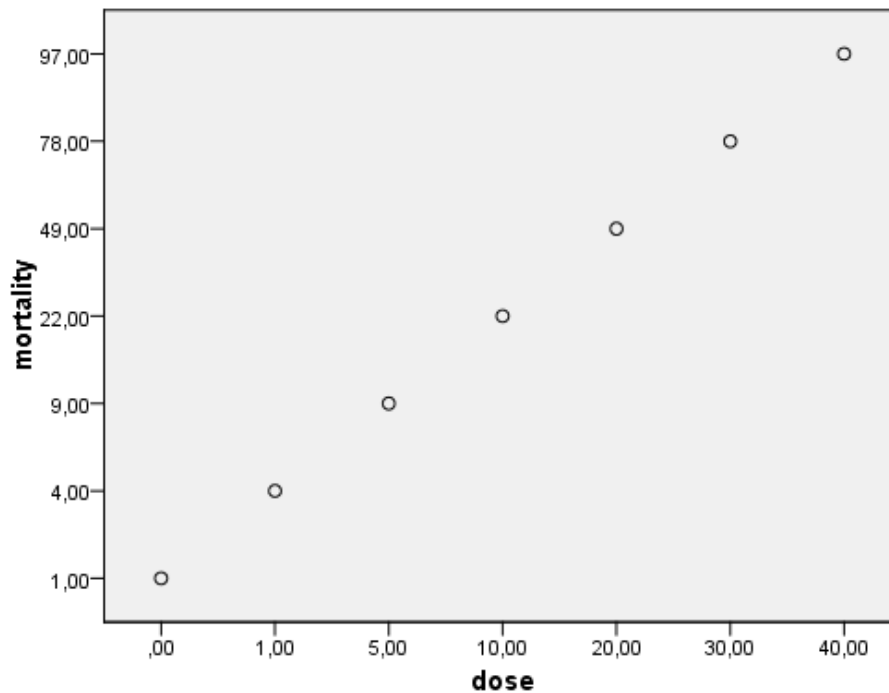


Figure 1. % mortality depending on the doses administered

In order to determine the effects of new insecticides used in chemical control on insects, it is necessary to know the biological activity parameters of insects such as life span, survival, egg production, as well as their biochemical and physiological mechanisms. In control studies against *G. mellonella*, methods such as chemical substances (paradichlorobenzene, ethylene dibromide, sulfur dioxide, acetic acid, calcium cyanide, methylbromide), physical applications (heating, cooling) and biological applications (*Bacillus thuringiensis* bacteria) are used in the world and in our country. The extract of the plant used in this study affected other biochemical mechanisms of the insect by changing the activities of some enzymes. The endocrine system in insects is a chemical regulator of environmental stimuli. Therefore, insects' response to external stressors is very similar to the response of vertebrates (Öztürk, 2021).

Table 1. LC₅₀ and LC₉₉ values

24 h	n	LC ₅₀	LC ₉₉	df ^b	sig	Chi-Square
Larvae	100	20,293	46,085	5	0,581 ^a	3,785

a: Significance level greater than 0.150; b: Individual cases differ from statistics based on aggregate cases; n: Number of tested insects.

Antioxidant enzymes have mechanisms of action such as removing key reactive oxygen species such as superoxide, hydrogen peroxide or catalytic metal ions from the environment or converting them to weaker molecules, inhibiting the formation of chain reactions that cause free radical damage and repairing the damage caused by them. Depletion of antioxidants and/or induction of antioxidant enzymes, displacement of redox active metals, inhibition of electron

transport chains in mitochondria and interruption of DNA repair can cause oxidative stress (Peric-Mataruga et al., 2019). Antioxidants that fight against oxidation are endogenous (catalase, superoxide dismutase, glutathione peroxidase, etc.) and exogenous (ascorbic acid, vitamins A and E, folic acid, NADPH oxidase inhibitors, etc.) and are substances that protect the living being against the negative effects of drugs, xenobiotics, carcinogenic and toxic radicals, both directly and indirectly.

Table 2. Effect of plant extract on *Galleria mellonella* larvae on enzyme activities and MDA levels

	control	1mg/ml	5 mg/ml	10mg/ml	20 mg/ml	30 mg/ml	40 mg/ml
SOD (U/mgprt)	0,091± 0,0052 ^a	0,088± 0,004 ^a	0,072± 0,0027 ^a	0,058± 0,0025 ^b	0,042± 0,0021 ^c	0,031± 0,0017 ^d	0,021± 0,0014 ^e
CAT (mmol/mgprt)	101,5± 6,47 ^a	97,5± 6,02 ^a	96,3± 5,91 ^a	68,4± 4,58 ^b	56,1± 4,23 ^c	40,5± 4,73 ^d	32,3± 5,02 ^e
GPx (nmol/mgprt)	0,51± 0,042 ^a	0,54± 0,03 ^a	0,53± 0,049 ^a	0,48± 0,028 ^a	0,44± 0,037 ^b	0,32± 0,017 ^c	0,22± 0,021 ^d
MDA (nmol/mgprt)	0,24± 0,02 ^a	0,22± 0,025 ^a	0,26± 0,029 ^a	0,37± 0,024 ^b	0,44± 0,02 ^c	0,50± 0,019 ^d	0,57± 0,022 ^e

Significance at $P < 0.05$. There is no significant difference between means carrying the same letter. Values are mean \pm standard deviation.

Endogenous antioxidants can be classified into two subgroups as enzymatic and non-enzymatic. Enzymatic antioxidants such as superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GSH-Px), catalase (CAT) and non-enzymatic antioxidants such as melatonin, albumin, and uric acid eliminate the harmful effects of reactive oxygen species (Kale et al, 1999).

Dubovskiy et al. (2008) tested the concentrations of superoxide dismutase (SOD), glutathione-S-transferase (GST), catalase (CAT), oxidation-oxidation (RSSR/TP) thiols and MDA levels as a result of oxidative stress formation in the midgut of *G. mellonella* larvae. At the end of the first days, it was observed that the levels of MDA and SOD increased while the levels of CAT decreased.

The biochemical relationship of the enzymes was also confirmed in the findings obtained from feeding *G. mellonella* with plant extract. The percentage expanded gradually with increasing concentration. Percent mortality values, LC50, LC99 values, SOD, CAT, GPx enzyme activities and MDA level were examined for this study. Percent mortality and MDA levels increased, while enzyme activities decreased. Based on these results, it can be said that *Anthemis wallii* extract caused oxidative stress and death in *Galleria mellonella* larvae. It is thought that the data obtained from this study will contribute to subsequent studies to investigate the effects of other pesticides used in chemical control on the metabolism of living organisms.

REFERENCES

- Aebi, H. (1984). Catalase In Vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121-126.
[https://doi.org/10.1016/0076-6879\(84\)05016-3](https://doi.org/10.1016/0076-6879(84)05016-3)

- Altuntaş, H., Kılıç, A. Y., & Türkmen, N. (2012). Effects of Temperature on Development and Reproduction of Greater Wax Moth (*Galleria mellonella*). *Journal of Insect Science*, 12(1), 1-12.
- Alvandial A, Jawadi MH, Altıntaş ZN, Yıldız N, Karaman M (2016) Candida albicans'ın Salgısal Asit Proteinaz Etkinliğinin Araştırılmasında In Vivo Model Olarak Galleria mellonella Larvanın Kullanılması. *J Turk Soc Microb* 46(2):69–75
- Bradford, M. M. (1976). A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Büyükgüzel E, Kalender Y (2009) Exposure to streptomycin alters oxidative and antioxidative response in larval midgut tissues of *Galleria mellonella*. *Pestic Biochem Phys* 94(2–3):112–118.
- De Mieri, M., Monteleone, G., Ismajili, I., Kaiser, M., & Hamburger, M. (2017). Antiprotozoal activity-based profiling of a dichloromethane extract from *Anthemis nobilis* flowers. *Journal of natural products*, 80(2), 459-470.
- Dubovskiy, I. M., Martemyanov, V. V., Vorontsova, Y. L., Rantala, M. J., Gryzanova, E. V., & Glupov, V. V. (2008). Effect of bacterial infection on antioxidant activity and lipid peroxidation in the midgut of *Galleria mellonella* L. larvae (Lepidoptera, Pyralidae). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 148(1), 1-5.
- Güler, B., Kesim, İ., & Uğurlu, E. (2013). Flora of Dervişli (Eşme, Uşak/Turkey) and its surroundings. *Biological Diversity and Conservation*, 6(1), 169-177.
- Güner, O. F. (Ed.). (2000). *Pharmacophore perception, development, and use in drug design* (Vol. 2). Internat'l University Line.
- Isman, M. B. (2000). Plant essential oils for pest and disease management. *Crop protection*, 19(8-10), 603-608.
- Jindra, C., Dušek, J., & Van Der Steen, J. (2019). Rearing Conditions of *Galleria mellonella* for Reliable Data Collection: A Review. *Journal of Invertebrate Pathology*, 163, 40-48.
- Kale, M., Rathore, N., John, S., & Bhatnagar, D. (1999). Lipid peroxidative damage on pyrethroid exposure and alterations in antioxidant status in rat erythrocytes: a possible involvement of reactive oxygen species. *Toxicology letters*, 105(3), 197-205.
- Lattanzio, V. (2013). Phenolic compounds: introduction 50. *Nat. Prod*, 1543-1580.
- Marklund, S., & Marklund, G. (1974). Involvement of the Superoxide Anion in the Autooxidation of Pyrogallol and a Convenient Assay for Superoxide Dismutase. *European Journal of Biochemistry*, 47(3), 469–474. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1974.tb03714.x>
- Murray, S. K. (2019). *Effects of used brood comb and propolis on honey bees (Apis mellifera L.) and their associated bacterium, Melissococcus plutonius* (Master's thesis, The Ohio State University).
- Ohkawa, H., Ohishi, N., & Yagi, K. (1979). Assay for Lipid Peroxides in Animal Tissues by Thiobarbituric Acid Reaction. *Analytical Biochemistry*, 95(2), 351–358. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(79\)90738-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(79)90738-3)

- Oh HaeWoon, O. H., Lee ManYoung, L. M., & Chang YoungDuck, C. Y. (1995). Developing periods and damage patterns of combs by the greater wax moth, *Galleria mellonella*.
- Öztürk, R. (2021). Ferula halophila ekstraktının *Galleria mellonella* L.(Lepidoptera: Pyralidae)'nın protein miktarı ve katalaz aktivitesi üzerine etkileri. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 47(1), 35-46.
- Paglia, D. E., & Valentine, W. N. (1967). Studies on the Quantitative and Qualitative Characterization of Red Cell Glutathione Peroxidase. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 70(1), 158–169. [PMID: 6068118](#)
- Perić-Mataruga, V., Ilijin, L., Mrdaković, M., Todorović, D., Prokić, M., Matić, D., & Vlahović, M. (2019). Parameters of oxidative stress, cholinesterase activity, Cd bioaccumulation in the brain and midgut of *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae) caterpillars from unpolluted and polluted forests. *Chemosphere*, 218, 416-424.
- Ríos, J. L., Recio, M. C., & Villar, A. (2006). *Plant Extracts: Traditional Uses and Modern Pharmacological Approaches to the Evaluation of Their Medicinal Properties. Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 75(3), 547-558. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2003.09.001>
- Said-Al Ahl, H. A., Hikal, W. M., & Tkachenko, K. G. (2017). Essential oils with potential as insecticidal agents: A review. *Int. J. Environ. Plan. Manag*, 3(4), 23-33.

MENOPOZUN ÖNCÜL VE ARDIL ETKİLERİ: PICOS YÖNTEMİ İLE LİTERATÜR İNCELEMESİ

Sema ÜSTGÖRÜL

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi

sema84car@hotmail.com

ORCID:0000-0002-8163-726X

ÖZET

Menopoz, kadınların üremelerinin sonlandığı, östrojen ve progesteron hormonlarının seviyelerindeki azalmaların gerçekleştiği bir yaşam dönemidir. Bu süreçte kadınlar hem cinsel hem fiziksel hem de psikolojik değişikliklere yol açan karmaşık bir süreçtir. Bu çalışmanın amacı, perimenopozal dönemde ortaya çıkan öncül ve postmenopozal dönemde yaşanan ardıl etkileri son beş yılda (2020-2024) yapılan araştırmalarda incelemektir. Bu değişimlerin kadınların genel sağlık durumu üzerindeki sonuçlarını ve kadınların genel sağlığını nasıl etkilediğini değerlendirmek için ilgili PICOS metodolojisini kullanarak güncel literatür analiz edilmiştir. Literatürdeki bulgular, menopozun kadınların yaşam kalitesini etkileyen çok yönlü bir süreç olduğunu ve bu süreçteki etkilerin bireysel farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca menopozun kadınların yaşam kalitesini çok yönlü olarak etkilediğini ve sıcak basması, ruh hali değişimleri ve uyku bozuklukları gibi semptomların bireyler arasında önemli farklılıklar olduğunu vurgulamaktadır. Menopozun kadın sağlığı üzerindeki uzun vadeli sonuçlarını daha iyi anlamak için bireyselleştirilmiş müdahalelere ve daha fazla araştırmaya duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Menopoz, Perimenopoz, Postmenopoz, Sıcak Basmaları, Osteoporoz, Cinsel Sağlık, Hormon Tedavisi

1. GİRİŞ

Menopoz, kadınların üreme yeteneklerinin sonlandığı, östrojen ve progesteron hormonlarının seviyelerinin azaldığı bir dönemi ifade eder (Ilankoon ve ark., 2021; Rafiei ve ark., 2024). Bu süreç, kadınların hem fiziksel hem de psikolojik sağlıklarını etkileyen karmaşık değişimlere yol açar (Santoro ve ark., 2021). Menopoz öncesi dönem (perimenopoz) genellikle hormonal dalgalanmaların yaşandığı ve kadınların adet döngülerinin düzensizleştiği bir süreçtir. Menopozun temel süreci doğrudan yumurtalık yaşlanmasıyla ilişkili olsa da, hipotalamik-hipofiz-yumurtalık-uterus ekseninin tüm yönleri zamanla değişir. Kronolojik ve yumurtalık yaşlanması, sürecin hızını ve süresini etkileyen iç içe geçmiş, eşzamanlı iki süreçtir. Son yıllarda, menopozal geçişle ilgili dünya çapında yapılan birçok çalışma, bize bu sürece eşlik eden üreme ve hormonal olayların bir kronolojisinin olduğunu belirtmektedir (Santoro ve ark., 2021; Refaei, ve ark. 2022). Adet döngüsünün bitmesiyle tanımlanan menopoz dönemi literatürde farklı yaş aralığı ifadesi edilse de genellikle 45-49 yaşları arasında başlar (Sherman, 2005). Menopoz öncesi (perimenopoz) ve sonrası (postmenopoz) süreç, östrojen ve progesteron hormonlarının azalması ile fiziksel ve psikolojik değişiklikler yaşanır (Wang ve ark. 2024;

Habeeb, 2023; Hulteen ve ark., 2023; Fitria ve ark., 2023). Bu değişiklikler, kadınların yaşam kalitelerini, genel sağlık durumlarını ve psikolojik iyilik hallerini etkileyebilir.

Bu çalışmanın amacı, 2010-2024 yılları arasında yapılan araştırmalar çerçevesinde menopozun perimenopoz ve postmenopoz dönemdeki etkilerini sistematik bir şekilde tanımlamak ve menopozla ilgili farklı faktörlerin bilimsel literatür çerçevesinde kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlayan PICOS (Population, Intervention, Comparison, Outcome, Study design) metodolojisi kullanarak incelemektir.

2. YÖNTEM

2.1. Metodoloji

Bu çalışma, menopozun öncül ve ardıl etkilerini değerlendiren, 2020-2024 yılları arasında Web of Science (WoS) veritabanında yayımlanan 78 bilimsel yayını inceleyen bir literatür taramasını içermektedir. Çalışma, PICOS (Population, Intervention, Comparison, Outcome, Study Design) yöntemine dayalı olarak yapılmış ve son 5 yıl içinde en çok atıf alan ilk 10 çalışmaya odaklanmıştır. Menopozla ilgili sağlık sorunlarını ve bu sorunların yönetimi için farklı tedavi yaklaşımlarını değerlendirmek amacıyla yapılan bu inceleme, menopoz sürecinin psikolojik, fiziksel ve biyolojik etkilerinin anlaşılmasına katkı sağlamayı hedeflemektedir.

2.2. Çalışma Tasarımı

Bu literatür incelemesi, menopoz sürecinin çeşitli yönlerini anlamak amacıyla farklı çalışma tasarımlarından yararlanmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, aşağıdaki türdeki çalışmalar dahil edilmiştir:

- **Randomize Kontrollü Çalışmalar (RCT'ler):** Menopozal semptomların, tedavi yöntemlerinin ve hormon tedavisinin etkinliğini değerlendiren kontrol gruplu çalışmalardır.
- **Kohort Çalışmaları:** Menopoz sürecinde kadınların farklı sağlık durumlarıyla nasıl ilişkilendirildiğini araştıran uzun dönemli çalışmalardır.
- **Gözlemsel Araştırmalar:** Menopozal dönemdeki kadınlarda ortaya çıkan semptomlar, yaşam kalitesi ve kardiyometabolik etkiler gibi faktörleri gözlemleyerek veri toplayan araştırmalardır.
- **Meta-Analizler ve Sistematik İncelemeler:** Mevcut literatürdeki verilerin birleştirilerek daha geniş bir sonuç elde edilmesini sağlayan araştırmalardır.

2.3. Literatür Tarama ve Veri Toplama

Veri toplama süreci, güvenilir ve kapsamlı bir veri tabanından yapılmıştır. Bu süreçte, aşağıdaki adımlar takip edilmiştir:

- **Veri Tabanları:** Literatür taraması için *Web of Science* veri tabanı kullanılmıştır. *Web of Science*, biyomedikal bilimler alanında güçlü bir kaynaktır ve yüksek atıf alan çalışmaların yer aldığı bir platformdur.

- **Yıl Aralığı:** Literatür taraması, 2020 ile 2024 yılları arasında yayımlanan çalışmalarla sınırlandırılmıştır. Bu yıl aralığı, menopoz araştırmalarındaki en güncel verilerin ele alınmasını sağlamaktadır.
- **Anahtar Kelimeler:** Araştırmanın kapsamını belirlemek ve ilgili literatürü bulmak amacıyla “menopause, perimenopause, postmenopause” anahtar kelimeler kullanılmıştır. Bu anahtar kelimeler, menopoz sürecindeki fiziksel ve psikolojik etkiler, tedavi yöntemleri ve yaşam kalitesi üzerine yapılan çalışmaları kapsayacak şekilde seçilmiştir.

2.4. Dahil Etme Kriterleri:

1. Çalışmalar, menopoz, perimenopoz ve postmenopozal dönemdeki kadınları hedef almalıdır.
2. Çalışmalar, sıcak basmaları, uyku bozuklukları, depresyon, anksiyete, hormon tedavisi ve fitoöstrojenler gibi menopozla ilişkili semptomları veya tedavi yöntemlerini incelemelidir.
3. Yalnızca son 5 yılda (2020-2024) yayımlanan, yüksek atıf alan çalışmalar dikkate alınmıştır.
4. Randomize kontrollü çalışmalar (RCT), kohort çalışmaları, gözlemsel araştırmalar, meta-analizler ve sistematik incelemeler dahil edilmiştir.
5. Çalışmalar, İngilizce dilinde yayımlanmış olmalıdır.

2.5. Dışlama Kriterleri:

1. Menopoz dışında kalan popülasyonları (örneğin, erkekler, pediatrik örneklemeler) ele alan çalışmalar dışlanmıştır.
2. Hayvan örneklemeleri içeren çalışmalar (sıçanlar, fareler) dışlanmıştır.
3. Yalnızca özet ya da derlemelerden oluşan ve birincil araştırma içermeyen çalışmalar dışlanmıştır.
4. Menopoz ile doğrudan ilişkili olmayan çalışmalara yer verilmemiştir.
5. Yalnızca araştırma özetleri veya eksik veri sunan çalışmalar dışlanmıştır.

2.6. Veri Analizi ve Yorumlama

Bu çalışmanın amacı, menopozun öncül ve ardıl etkileri hakkında geniş bir perspektif sunmaktır. Tarama süreci, PICOS metodolojisine dayalı olarak, çalışmalardan elde edilen verilerin birleştirilmesi ve analiz edilmesini içermektedir. Meta-analizler, bireysel çalışmaların sonuçlarını sentezleyerek daha genel geçer sonuçlara ulaşmayı sağlayacak şekilde kullanılacaktır. Ayrıca, çalışmaların metodolojik kalitesinin değerlendirilmesi, bulguların güvenilirliğini artıracaktır.

I. Popülasyon (Population)

Bu analizde incelenen çalışmalarda yer alan popülasyon, genellikle perimenopozal ve postmenopozal kadınlardan oluşmaktadır. Çalışmalarda yer alan kadınlar 40-60 yaş aralığında olup, perimenopozal ya da postmenopozal süreçte yer almışlardır. Örneklem büyüklükleri değişiklik göstermekte olup, örneklem sayısı 16 kişiden 1.947 kişiye kadar geniş bir yelpazeye yayılmaktadır. Çalışmaların çoğunda, hormon tedavisi, fitoöstrojenler, probiyotikler gibi müdahaleler uygulanmıştır.

II. Müdahale (Intervention)

Çalışmalarda menopoza sürecinin etkilerinin azaltılması amacıyla çeşitli müdahale yöntemleri değerlendirilmiştir. Bu müdahaleler arasında fitoöstrojenler (örneğin, soya izoflavonları), probiyotik takviyeleri, hormon tedavileri ve diyet değişiklikleri yer almaktadır. Örnek olarak Szydłowska ve ark. (2021) probiyotik takviyelerinin hormon seviyeleri ve vücut kitle indeksi üzerindeki etkilerini incelemişken, Li ve ark. (2021) fitoöstrojenlerin perimenopozal ve postmenopozal depresyon üzerindeki etkinliğini araştırmışlardır.

III. Karşılaştırma (Comparison)

Çalışmaların çoğunda karşılaştırmalı gruplar arasında, tedavi alan grup ile plasebo grubu arasında bir kıyaslama yapılmıştır. Örneğin Szydłowska ve ark. (2021) probiyotik takviyesi alan grup ile plasebo grubunu karşılaştırmış, aynı şekilde Li ve ark. (2021) fitoöstrojen tedavisi gören ve plasebo alan kadınları karşılaştırmıştır. Ayrıca, bazı çalışmalarda farklı tedavi yöntemleri (örneğin, hormon tedavisi ile fitoöstrojen tedavisi) arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

VI. Sonuç (Outcome)

Çalışmaların sonuçları menopozun öncül ve ardıl etkilerinin yönetimiyle ilgili farklı bulgular sunmuştur. FSH (folikül uyarıcı hormon), estradiol, kortizol gibi hormon seviyelerindeki değişiklikler, menopoz sürecinin önemli biyolojik göstergeleridir. Örneğin, Szydłowska ve ark. (2021) probiyotik takviyesinin FSH seviyelerini artırdığını, vücut kitle indeksini düşürdüğünü belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Li ve ark. (2021) fitoöstrojenlerin depresyonu azaltmaya yardımcı olduğunu ve kadınların ruh halini iyileştirdiğini bulmuşlardır. Bunun yanı sıra, menopozun fiziksel etkilerini (örneğin, sıcak basmaları, kemik mineral yoğunluğu) hedefleyen müdahalelerde de olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

V. Araştırma Tasarımı (Study Design)

Bu çalışma literatür taraması yöntemiyle yapılmıştır ve PICOS metodolojisine dayalı olarak sistematik bir inceleme gerçekleştirilmiştir. İncelenen çalışmalar, randomize kontrollü çalışmalar, kohort çalışmaları ve sistematik derlemeler gibi farklı araştırma tasarımlarını içermektedir. Yalnızca tam metin erişimi sağlanan ve yüksek kaliteli, hakemli dergilerde yayımlanan çalışmalar analiz edilmiştir. Çalışmaların çoğu, hormon tedavileri, fitoöstrojenler, probiyotikler gibi çeşitli tedavi yaklaşımlarının etkinliğini değerlendiren müdahaleli çalışmalardır. Ayrıca, sonuçların doğruluğunu artırmak adına meta-analizler de sıklıkla yer almaktadır.

3. BULGULAR

Tablo 1’de her bir çalışmanın yazarlarını, yayın yılını, başlığını, örneklem bilgisini, anahtar kelimeleri, WoS kategorisini ve sonuçları bulunmaktadır.

Tablo 1. İncelemeye alınan çalışmalar

	Yazarlar	Yayın Yılı	Başlık	Örneklem	Anahtar Kelimeler	WoS Kategorisi	Sonuç
1	Kanadys, W; Baranska, A; Jedrych, M; Religioni, U; Janiszewska, M	2020	Effects of red clover (Trifolium pratense) isoflavones on the lipid profile of perimenopausal and postmenopausal women-A systematic review and meta-analysis	910 perimenopozal ve postmenopozal kadın	Trifolium pratense; Kızıl yonca; Isoflavonlar; Lipidler; Menopoz; Meta-analiz	Geriatrics & Gerontology; Obstetrics & Gynecology	İsoflavonlarının, perimenopozal ve postmenopozal kadınların lipid profili üzerinde olumlu etkiler yarattığı bulunmuştur.
2	Garcia-Alfaro, P; Garcia, S; Rodriguez, I; Vergés, C	2020	Dry eye disease symptoms and quality of life in perimenopausal and postmenopausal women	1947 perimenopozal ve postmenopozal kadın (45-79 yaş)	Kuru göz hastalığı; Yaşam kalitesi; Ocular Surface Disease Index; Perimenopoz; Postmenopoz	Obstetrics & Gynecology	Kuru göz hastalığının perimenopozal ve postmenopozal kadınlarda daha yaygın olduğu ve yaşam kalitesini olumsuz etkilediği bulunmuştur.
3	van Breemen, RB; Chen, LY; Tonsing-Carter, A; Banuvar, S; Barengolts, E; Viana, M; Chen, SN; Pauli, G; Bolton, JB	2020	Pharmacokinetic Interactions of a Hop Dietary Supplement with Drug Metabolism in Perimenopausal and Postmenopausal Women	16 perimenopozal ve postmenopozal kadın	Şerbetçi otu; Klinik deney; Farmakokinetik; İlaç etkileşimleri; Bitkisel besin takviyeleri	Agriculture, Multidisciplinary; Chemistry, Applied; Food Science & Technology	Şerbetçi otu takviyelerinin, perimenopozal ve postmenopozal kadınlardaki ilaç metabolizması ile etkileşime girdiği ve farmakokinetik özellikleri etkilediği bulunmuştur.
4	Koczkodaj, P; Sulkowska, U; Gotlib, J; Manczuk, M	2020	Breast cancer mortality trends in Europe among women in perimenopausal and postmenopausal age (45+)	28 AB ülkesi ve 3 AB dışı ülke (Norveç, İsviçre, Rusya)	Meme kanseri; Tarama; Avrupa Birliği; Mortalite; Mammografi; Avrupa	Medicine, General & Internal	Avrupa'da perimenopozal ve postmenopozal kadınlarda meme kanseri mortalitesinin, tarama ve erken teşhis ile önemli

							ölçüde azaldığı bulunmuştur.
5	Nwaru, BI; Shah, SA; Tibble, H; Pillinger, R; McLean, S; Ryan, D; Critchley, H; Hawrylowicz, CM; Simpson, CR; Soyiri, IN; Appiagyei, F; Price, D; Sheikh, A	2021	Hormone Replacement Therapy and Risk of Severe Asthma Exacerbation in Perimenopausal and Postmenopausal Women: 17-Year National Cohort Study	31,656 perimenopozal ve postmenopozal kadın (46-70 yaş)	Astım alevlenmesi; Kombine hormon tedavisi; Estrojen yalnız tedavisi; Hormon replasman tedavisi	Allergy; Immunology	Hormon replasman tedavisinin, perimenopozal ve postmenopozal kadınlarda astım alevlenmesi riskini artırabileceği bulunmuştur.
6	Li, JY; Li, HJ; Yan, PJ; Guo, LP; Li, JW; Han, JN; Qiu, J; Yang, KH	2021	Efficacy and safety of phytoestrogens in the treatment of perimenopausal and postmenopausal depressive disorders: A systematic review and meta-analysis	1248 menopozal kadın (toplamda 10 çalışma)	Fitöestrogenler; Menopoz semptomları; Soya izoflavonları; Depresyon; Genistein; Ruh hali	Medicine, General & Internal; Pharmacology & Pharmacy	Fitöestrogenlerin, perimenopozal ve postmenopozal depresyon tedavisinde etkili olduğu ve güvenli bir seçenek sunduğu bulunmuştur.
7	Zhou, Q; Wang, BS; Hua, Q; Jin, Q; Xie, J; Ma, J; Jin, FR	2021	Investigation of the relationship between hot flashes, sweating and sleep quality in perimenopausal and postmenopausal women: the mediating effect of anxiety and depression	467 perimenopozal ve postmenopozal kadın (yaş aralığı 40-60)	Menopoz; Sıcak basmaları; Uyku kalitesi; Anksiyete; Depresyon	Public, Environmental & Occupational Health; Obstetrics & Gynecology	Sıcak basmalarının ve terlemenin, uyku kalitesini olumsuz etkileyen anksiyete ve depresyon gibi psikolojik faktörlerle ilişkili olduğu bulunmuştur.
8	Yadav, V; Jain, A; Dabar, D; Goel, AD; Sood, A; Joshi, A; Agarwal, SS; Nandeshwar, S	2021	A meta-analysis on the prevalence of depression in perimenopausal and postmenopausal women in India	10 çalışma, 1380 kadın	Prevalans; Hindistan; Meta-analiz; Depresyon; Menopoz; Kadınlar; Klimakterik	Psychiatry	Hindistan'daki perimenopozal ve postmenopozal kadınlarda depresyon prevalansının %42.47 olduğu bulunmuştur.

9	Szydłowska, I; Marciniak, A.; Brodowska, A.; Loj, B.; Ciecwiez, S.; Skonieczna-Zydecka, K.; Palmas, J.; Loniewski, I; Stachowska, E.	2021	Effects of probiotics supplementation on the hormone and body mass index in perimenopausal and postmenopausal women using the standardized diet. A 5-week double-blind, placebo-controlled, and randomized clinical study	48 perimenopozal ve postmenopozal kadın	Probiotik tedavi; Hormonal homeostaz; Vücut kitle indeksi	Pharmacology & Pharmacy	Probiotiklerin, perimenopozal kadınların FSH (folikül uyarıcı hormon) seviyelerinde anlamlı bir artışa neden olduğu ve vücut kitle indeksinde azalma sağladığı bulunmuştur.
10	Abe, S.; Kashii, M.; Shimada, T.; Suzuki, K.; Nishimoto, S.; Nakagawa, R.; Horiki, M.; Yasui, Y.; Namba, J.; Kuriyama, K.	2022	Relationship between distal radius fracture severity and 25-hydroxyvitamin-D level among perimenopausal and postmenopausal women	122 perimenopozal ve postmenopozal kadın	Distal radius fracture; 25-hydroxyvitamin-D; Vitamin D; Fracture severity; Osteoporosis	Orthopedics	Articular comminuted distal radius kırığı, AO C3 kırığı olarak adlandırılan, düşük serum 25-hidroksivitamin D seviyeleriyle anlamlı şekilde ilişkilidir. Vitamin D takviyesi, bu tür kırıkların önlenmesinde etkili olabilir.

Szydłowska ve ark., (2021) tarafından yapılan çalışmada, probiyotiklerin perimenopozal ve postmenopozal kadınlarda FSH seviyelerinde anlamlı bir artışa yol açtığı ve vücut kitle indeksinde azalma sağladığı bulunmuştur. Bu sonuçlar, probiyotiklerin hormonal dengeyi düzenlemeye ve kilo yönetimini desteklemeye yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Abe ve ark., (2022) ise, distal radius kırıkları ile 25-hidroksivitamin D seviyesi arasındaki ilişkiyi incelemiş ve düşük vitamin D seviyelerinin daha şiddetli kırıklara yol açtığını ortaya koymuştur. Bu çalışma, menopoz sonrası kadınlarda kemik sağlığını korumak için vitamin D takviyesinin önemini vurgulamaktadır.

Yadav ve ark., (2021), Hindistan'daki perimenopozal ve postmenopozal kadınlar arasında depresyon prevalansını %42.47 olarak tespit etmiştir. Bu bulgu, menopoz döneminde kadınların ruh sağlığına yönelik daha fazla araştırma ve müdahale gerekliliğini ortaya koymaktadır.

García-Alfaro ve ark., (2020) çalışmasında, kuru göz hastalığı semptomları ile yaşam kalitesi arasındaki ilişkiyi incelemiş ve perimenopozal ve postmenopozal kadınlarda göz sağlığının

menopoz sürecine bağlı olarak kötüleştiğini bulmuştur. Bu bulgular, menopozun göz sağlığı üzerindeki etkilerini göz önünde bulundurarak daha fazla farkındalık yaratılmasını gerektirmektedir.

Li ve ark., (2021) ise fitoöstrojenlerin depresyon tedavisindeki rolünü araştırmış ve bu tedavi yönteminin menopozal kadınlarda depresyon semptomlarını azaltmada etkili olduğunu belirtmiştir. Bu bulgu, doğal tedavi yöntemlerine olan ilgiyi artırmaktadır.

Zhou ve ark., (2021) çalışmasında, sıcak basmalarının uyku kalitesi üzerinde etkili olduğunu ve bu etkinin anksiyete ve depresyon ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma, menopozdaki uyku problemlerine yönelik psikolojik müdahalelerin önemini vurgulamaktadır.

Kanadys ve ark., (2020) çalışmasında, kırmızı clover (*Trifolium pratense*) izoflavonlarının lipid profili üzerinde olumlu etkiler sağladığını göstermiştir. Bu bulgular, menopozda kardiyovasküler sağlığı iyileştirmeye yönelik bitkisel tedavilerin önemini artırmaktadır.

Zhou ve ark., (2021) bir başka çalışmasında ise, sıcak basmaları ve terleme ile uyku kalitesi arasındaki ilişkiyi inceleyerek, depresyon ve anksiyetenin bu ilişkiyi aracıladığını bulmuştur. Menopozdaki psikolojik ve fiziksel belirtilerin birbiriyle etkileşimi, tedavi yaklaşımlarında bütüncül bir yaklaşım gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Garcia-Alfaro ve ark., (2020) kuru göz hastalığı semptomlarının yaşam kalitesi üzerindeki etkisini incelemiş ve menopozal dönemde göz sağlığı sorunlarının artış gösterdiğini belirtmiştir. Bu bulgular, menopozda göz sağlığına yönelik tıbbi yaklaşımların önemini ortaya koymaktadır.

Son olarak, Nwaru ve ark., (2021) hormon replasman tedavisinin astım atakları üzerindeki etkilerini incelemiş ve hormon tedavisinin astımın şiddetini artırabileceğini belirtmiştir. Bu sonuç, menopozdaki kadınlarda astım yönetimi için dikkatli bir yaklaşım gerektiğini ortaya koymaktadır.

İncelenen çalışmalar, menopozun çeşitli yönlerini ele alarak, özellikle kadın sağlığı üzerindeki fiziksel, psikolojik ve biyolojik etkilerini gözler önüne sermektedir. Menopoz, kadınların yaşamlarında önemli bir dönüm noktası olup, birçok fiziksel ve psikolojik semptomla birlikte gelir. Bu semptomlar, kadınların yaşam kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir.

Fiziksel açıdan, menopoz, sıcak basmaları, uyku bozuklukları, kuru göz hastalıkları ve kemik yoğunluğu kaybı gibi çeşitli sorunları tetikleyebilir. Çalışmalar, özellikle probiyotik tedavisi ve vitamin D gibi takviyelerin bu semptomları hafifletmede önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Örneğin, Szydłowska ve ark., (2021) probiyotiklerin FSH seviyelerini artırdığı ve vücut kitle indeksini düşürdüğünü bulmuş, Abe ve ark., (2022) ise düşük vitamin D seviyelerinin daha şiddetli kemik kırıklarına yol açtığını ortaya koymuştur.

Psikolojik açıdan, depresyon ve anksiyete menopoz döneminde kadınların sıklıkla karşılaştığı sorunlardır. Yadav ve ark., (2021), Hindistan'daki menopozal kadınlar arasında depresyon prevalansının yüksek olduğunu tespit etmiş ve menopoz dönemiyle ilişkili ruhsal sağlık sorunlarının önemini vurgulamıştır. Ayrıca, Zhou ve ark., (2021) sıcak basmaları, uyku bozuklukları ve depresyon arasındaki ilişkiyi inceleyerek, menopoz semptomlarının psikolojik faktörlerle iç içe geçtiğini ortaya koymuştur.

Biyolojik açıdan ise, hormon seviyelerindeki değişiklikler, kadınların genel sağlık durumunu etkileyebilir. Kanadys ve ark., (2020), kırmızı yonca izoflavonlarının lipid profili üzerinde olumlu etkiler sağladığını bulmuş, menopozdaki kardiyovasküler sağlıkla ilgili tedavi yöntemlerinin önemini bir kez daha ortaya koymuştur. Ayrıca, Li ve ark., (2021) fitoöstrojenlerin depresyon tedavisindeki etkilerini inceleyerek, menopozal kadınların hormonal dengesini düzenlemeye yönelik doğal tedavi seçeneklerine olan ilgiyi artırmıştır.

Sonuç olarak, menopoz döneminde kadın sağlığına yönelik yapılan bu çalışmalar, hormonal, fiziksel ve psikolojik etkilerin birbirini etkileyen karmaşık bir etkileşimde olduğunu ve çeşitli tedavi yöntemlerinin bu etkileşimleri hafifletmeye yardımcı olabileceğini göstermektedir. Bu alanda daha fazla araştırmaya ve klinik müdahaleye ihtiyaç olduğu açıktır.

3.1. Menopoz Öncesi (Perimenopozal) Etkiler

Menopoz öncesi dönem, östrojen ve progesteron seviyelerindeki dalgalanmaların başladığı ve genellikle düzensiz adet döngüleriyle tanımlanan bir süreçtir. Perimenopoz döneminde kadınlar sıklıkla sıcak basmaları, uyku problemleri, vajinal kuruluk, cinsel istek kaybı ve ruh hali değişiklikleri gibi belirtiler yaşarlar (Demirtaş ve ark., 2022). Bu dönemde, sıcak basmaları en yaygın ve rahatsız edici semptomlar arasında yer almaktadır (Freeman, 2010). Ayrıca, hormon değişiklikleri nedeniyle bazı kadınlar depresyon, anksiyete ve irritabilite gibi psikolojik belirtiler de yaşayabilirler (Dennerstein ve ark., 2003).

3.2. Menopoz Sonrası (Postmenopozal) Etkiler

Menopoz sonrasındaki dönemde, östrojen seviyelerinin kalıcı olarak düşmesiyle birlikte, kemik sağlığı önemli ölçüde etkilenebilir. Osteoporoz riski, menopoz sonrası dönemde artış gösterir. Bu durum kemik yoğunluğunda azalma ve kırık riskiyle ilişkilidir (Rojas ve ark., 2023). Ayrıca, menopoz sonrası kardiyovasküler hastalıklar, özellikle kalp hastalıkları, kadınlar için artan bir risk faktörü haline gelir. Hormonların kalp sağlığı üzerindeki koruyucu etkilerinin kaybolması, postmenopozal dönemde kadınların bu hastalıklara daha yatkın olmalarına neden olabilir (Mehta ve Manson, 2024).

Menopoz sonrası cinsel sağlık da önemli bir sorun olabilir. Vajinal kuruluk, cinsel ilişki sırasında ağrıya yol açarak cinsel isteksizlikle sonuçlanabilir. Ayrıca, libido kaybı da sık karşılaşılan bir durumdur (Iacuanello, 2024). Bununla birlikte, menopoz sonrası hormon tedavisi (HRT), bu semptomları hafifletmek ve kadınların yaşam kalitesini iyileştirmek için kullanılabilir. Ancak, Norveçte 1.3 milyon kadın üzerine yapılan bir araştırmaya göre hormon tedavisinin potansiyel riskleri, özellikle meme kanseri riskiyle ilişkilidir (Støer ve ark., 2024).

3.3. Menopoz Yönetim ve Tedavi Yöntemleri

Menopozun etkilerini yönetmek için literatürde birçok stratejik yöntem bulunmaktadır. Hormon tedavisi (HRT), sıcak basmalarını, vajinal kuruluğu ve cinsel istek kaybını azaltabilir. Ancak, HRT'nin uzun süreli kullanımı, bazı kadınlarda meme kanseri ve kardiyovasküler hastalık risklerini artırabilir (McNeil, 2017). Diğer bir yönetim stratejisi ise egzersiz, sağlıklı beslenme ve yaşam tarzı değişikliklerini içeren yaklaşımlardır. Düzenli egzersiz, kemik sağlığını korumada, kilo kontrolünde ve kardiyovasküler sağlığın iyileştirilmesinde önemli bir rol oynar (Dubnov ve ark., 2023).

HRT, menopozal vazomotor semptomların (VMS) ve menopozun genitoüriner sendromunun yönetimi için mevcut en etkili tedavi seçeneği olmaya devam etmektedir (NAMS, 2017). Her iki durum da postmenopozal kadınlarda oldukça yaygın olup sırasıyla %80 ve %50 oranında görülmekte ve yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. HT, ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından bu iki endikasyonun yanı sıra kemik kaybının önlenmesi ve prematüre hipoöstrojenizmin tedavisi için de onaylanmıştır. Yaşlanan kadınlarda (ortalama 50 yaş) yapılan RKÇ'lerin bir metanalizinde, hem oral östrojenler (CEE- conjugated equine estrogens) veya transdermal östradiol (E2) (progestin eklenerek veya eklenmeden) sıcak basmalarını iyileştirmede etkili olmuş ve semptomları %70 ila %95 oranında azaltmıştır (Nelson, 2004).

Yapılan sistematik bir incelemede, vajinal östrojen ürünlerinin genitoüriner semptomlar için en etkili tedavi şekli olduğu ve vajinal kayganlaştırıcılara ve nemlendiricilere göre daha üstün olduğu bulunmuştur (Biehl ve ark., 2019).

Menopoz sonrası kadınlarda kardiyovasküler hastalık (KVH) riski artmaktadır ve yumurtalık östrojen kaybının bu riske katkıda bulunduğu varsayılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, HT kullanan menopoz sonrası kadınlarda, HT kullanmayanlara kıyasla KKH riskinin azaldığı gösterilmiştir (Rossouw, 2006).

HRT kullanan kadınlarda kırık riskini değerlendiren RKÇ'lerin bir metanalizinde kalça, vertebra ve total kırık riskinde %20 ila %37 azalma görülmüştür. HT'nin kesilmesini takiben korumada bir miktar zayıflama görülmüş, ayrıca 60 yaşından önce HT kullananlarda kırık riskinde daha belirgin bir azalma olmuştur (Zhu ve ark., 2016).

4. TARTIŞMA

Menopoz, kadınların yaşamında önemli bir dönüm noktasıdır ve bu süreç hem fiziksel hem de psikolojik değişikliklere yol açmaktadır. Perimenopoz ve postmenopoz dönemlerinde yaşanan etkiler, hormonal değişikliklerin vücutta farklı alanlarda neden olduğu değişikliklerin bir yansımasıdır. Osteoporoz ve kardiyovasküler hastalıklar gibi uzun vadeli sağlık riskleri, menopozun ardıl etkilerinin başında gelirken, sıcak basmaları, vajinal kuruluk ve cinsel işlev bozuklukları daha kısa vadeli semptomlar olarak görülmektedir.

Hormon tedavisi ve yaşam tarzı değişiklikleri gibi tedavi yaklaşımları, menopozun etkilerini hafifletmek için sıklıkla kullanılmakta, ancak her kadının ihtiyaçları farklıdır. Bu nedenle, menopoz yönetimi kişiselleştirilmiş bir yaklaşım gerektirir.

5. SONUÇ

Menopoz, her kadının hayatında farklı bir şekilde deneyimlediği, çok boyutlu bir süreçtir. Perimenopozal ve postmenopozal dönemlerdeki değişiklikler, kadınların fiziksel sağlığı, ruh hali ve yaşam kalitesi üzerinde belirleyici etkiler yaratmaktadır. Menopozun yönetimi, semptomların hafifletilmesi ve uzun vadeli sağlık risklerinin azaltılması amacıyla hormon tedavisi ve yaşam tarzı değişikliklerini içeren bir yaklaşım gerektirir. Gelecekteki araştırmalar, menopozun etkilerine yönelik daha etkili tedavi yöntemlerini ve yönetim stratejilerini ortaya koymayı hedeflemelidir.

Son yıllarda yapılan araştırmalar, menopozun kadın sağlığı üzerindeki çok yönlü etkilerini ve bu sürecin kadınlar arasında farklılıklar gösteren deneyimlerini ortaya koymaktadır. Menopoz,

kadınların fiziksel, cinsel ve psikolojik sağlıklarını etkileyen karmaşık bir süreçtir ve her kadının deneyimi farklıdır. Hormon tedavisi, menopoz semptomlarını hafifletmede yaygın olarak kullanılsa da, bireyselleştirilmiş yaklaşımların önem kazandığı anlaşılmaktadır. Araştırmaların, menopozun çok boyutlu etkilerini anlamak ve kadınların yaşam kalitesini iyileştirecek müdahaleler geliştirmek için devam etmesi gerekmektedir.

5.1.Sınırlılıklar

Mevcut literatürdeki araştırmalar, bazı önemli sınırlamaları içermektedir. Öncelikle, menopozun uzun vadeli sağlık sonuçlarını inceleyen daha kapsamlı ve uzun süreli çalışmalara ihtiyaç vardır. Çoğu çalışma, kısa vadeli semptomlar veya müdahalelere odaklanmakta olup, menopozun tüm sağlık üzerindeki uzun vadeli etkilerini tam olarak yansıtmamaktadır. Ayrıca, menopoz ile ilgili yapılan çoğu araştırma, yüksek gelirli ülkelerde gerçekleştirilmiş olup, bu durum bulguların düşük ve orta gelirli ülkelerdeki kadınlara genellenmesini zorlaştırmaktadır. Menopozla ilgili araştırmalar genellikle homojen gruplarla yapılmış ve etnik çeşitlilik gibi faktörler göz ardı edilmiştir.

5.2. Öneriler

Gelecek araştırmalar, menopozun uzun vadeli sağlık sonuçlarını anlamaya yönelik longitudinal çalışmalara odaklanmalıdır. Özellikle kemik sağlığı, kardiyovasküler hastalıklar ve bilişsel fonksiyonlar gibi konularda daha fazla bilgiye ihtiyaç vardır. Ayrıca, non-hormon tedavileri, yaşam tarzı değişiklikleri ve psikolojik müdahalelerin menopoz semptomları üzerindeki etkinliğini araştıran çalışmalar artırılmalıdır. Menopozun deneyimlenmesi konusunda daha çeşitli popülasyonların dahil edilmesi, farklı coğrafi bölgeler ve etnik gruplar için daha geçerli sonuçlar elde edilmesine katkı sağlayacaktır. Menopozla ilgili farkındalığı artırmak ve sağlık hizmetlerine erişimi iyileştirmek, özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde önemli bir halk sağlığı sorunu olmalıdır. Dolayısıyla bu eksikliklerin giderilmesi, menopozun etkilerinin daha iyi anlaşılmasına ve kadınların yaşam kalitesini artıracak daha etkili müdahalelerin geliştirilmesine olanak tanıyacaktır.

6. KAYNAKLAR

Abe, S., Kashii, M., Shimada, T., Suzuki, K., Nishimoto, S., Nakagawa, R., ... & Kuriyama, K. Relationship between distal radius fracture severity and 25-hydroxyvitamin-D level among perimenopausal and postmenopausal women, *Bone & Joint Open*, 3(3), 261-267, 2022.

Biehl, C., Plotsker, O., Mirkin, S. A systematic review of the efficacy and safety of vaginal estrogen products for the treatment of genitourinary syndrome of menopause, *Menopause*, 26(4):431-453, 2019.

Demirtaş, F. A., Fırat, B., & Sahin, N. Menopoz ve cinsel yaşam: Sistemik derleme, *Androloji Bülteni*, 24(2), 2022.

Dennerstein, L., Alexander, J. L., & Kotz, K. The menopause and sexual functioning: a review of the population-based studies, *Annual review of sex research*, 14(1), 64-82, 2003.

Dubnov, G., Brzezinski, A., & Berry, E. M. Weight control and the management of obesity after menopause: the role of physical activity. *Maturitas*, 44(2), 89-101, 2003.

Fitria, I., Maritalia, D., & Tambunan, H. Identification of physiological and psychological changes during menopause in bireuen district, aceh province. *Indones Midwifery Heal Sci J*, 7(4), 338-55, 2023.

Freeman, E. W. Associations of depression with the transition to menopause. *Menopause*, 17(4), 823-827, 2010.

García-Alfaro, P., García, S., Rodríguez, I., & Vergés, C. Dry eye disease symptoms and quality of life in perimenopausal and postmenopausal women. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 24(25), 3859-3867, 2020.

Habeeb, S. Menopause: Transition, Effects, and Methods. In *Encyclopedia of Sexual Psychology and Behavior* (pp. 1-12). Cham: Springer International Publishing, 2023.

Hulteen, R. M., Marlatt, K. L., Allerton, T. D., & Lovre, D. Detrimental changes in health during menopause: the role of physical activity. *International journal of sports medicine*, 44(06), 389-396, 2023.

Iacuaniello, D. Menopause related libido loss: Is testosterone replacement always needed? In *Endocrine Abstracts* (Vol. 100). Bioscientifica, June, 2024.

Ilankoon, I. M. P. S., Samarasinghe, K., & Elgán, C. Menopause is a natural stage of aging: a qualitative study, *BMC Women's Health*, 21, 1-9, 2021.

Kanadys, W., Baranska, A., Jedrych, M., Religioni, U., & Janiszewska, M. Effects of red clover (*Trifolium pratense*) isoflavones on the lipid profile of perimenopausal and postmenopausal women—A systematic review and meta-analysis, *Maturitas*, 132, 7-16, 2020.

Koczkodaj, P., Sulkowska, U., Gotlib, J., & Mańczuk, M. Breast cancer mortality trends in Europe among women in perimenopausal and postmenopausal age (45+), *Archives of Medical Science*, 16(1), 146-156, 2019.

Li, J., Li, H., Yan, P., Guo, L., Li, J., Han, J., ... & Yang, K. Efficacy and safety of phytoestrogens in the treatment of perimenopausal and postmenopausal depressive disorders: A systematic review and meta-analysis, *International Journal of Clinical Practice*, 75(10), 2021.

McNeil, M. Menopausal hormone therapy: understanding long-term risks and benefits, *JAMA*, 318(10), 911-913, 2017.

Mehta, J. M., & Manson, J. E. The menopausal transition period and cardiovascular risk, *Nature Reviews Cardiology*, 21(3), 203-211, 2024.

NAMS, The 2017 hormone therapy position statement of The North American Menopause Society, *Menopause*, 24 (7): 728-753, 2017.

Nelson, HD. Commonly used types of postmenopausal estrogen for treatment of hot flashes: scientific review, *JAMA*, 291(13):1610-1620, 2004.

Nwaru, B. I., Shah, S. A., Tibble, H., Pillinger, R., McLean, S., Ryan, D., ... & Sheikh, A. Hormone replacement therapy and risk of severe asthma exacerbation in perimenopausal and

postmenopausal women: 17-year national cohort study. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, 9(7), 2751-2760, 2021.

Rafiei, E. H., Riazi, H., Shams, J., & Majd, H. A. Exploring sexual life enrichment: a journey into strengthening well-being for women post-menopause through qualitative study. *BMC Women's Health*, 24(1), 506, 2024.

Refaei, M., Mardanpour, S., Masoumi, S. Z., & Parsa, P. Women's experiences in the transition to menopause: A qualitative research. *BMC Women's Health*, 22(1), 53, 2022.

Rojas, K., Spring, L. M., O’Riordan, L., & Weiss, A. Endocrine therapy for surgeons: practical pearls for managing menopausal, bone loss and sexual adverse effects. *Annals of Surgical Oncology*, 30(10), 5951-5961, 2023.

Rossouw, J. E. Implications of recent clinical trials of postmenopausal hormone therapy for management of cardiovascular disease. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1089(1), 444-453, 2006.

Santoro, N., Roeca, C., Peters, B. A., & Neal-Perry, G. The menopause transition: signs, symptoms, and management options. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 106(1), 1-15, 2021.

Sherman, S. Defining the menopausal transition. *The American Journal of Medicine*, 118(12), 3-7, 2005.

Støer, N.C., Vangen, S., Singh, D., Fortner, R.T., Hofvind, S., Ursin, G., & Botteri, E. Menopausal hormone therapy and breast cancer risk: a population-based cohort study of 1.3 million women in Norway. *British Journal of Cancer*, 1-12, 2024.

Szydłowska, I., Marciniak, A., Brodowska, A., Loj, B., Ciecwiez, S., Skonieczna-Zydecka, K., Palmas, J., Loniewski, I., & Stachowska, E. Effects of probiotics supplementation on the hormone and body mass index in perimenopausal and postmenopausal women using the standardized diet: A 5-week double-blind, placebo-controlled, and randomized clinical study. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 24(25), 3859-3867, 2021.

van Breemen, R. B., Chen, L., Tonsing-Carter, A., Banuvar, S., Barengolts, E., Viana, M., ... & Bolton, J. L. Pharmacokinetic interactions of a hop dietary supplement with drug metabolism in perimenopausal and postmenopausal women. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68(18), 5212-5220, 2020.

Wang, X., Ding, N., Harlow, S. D., Randolph Jr, J. F., Gold, E. B., Derby, C., ... & Park, S. K. Associations between exposure to air pollution and sex hormones during the menopausal transition. *Science of the Total Environment*, 908, 168317, 2024.

Yadav, V., Jain, A., Dabar, D., Goel, A. D., Sood, A., Joshi, A., ... & Nandeshwar, S. A meta-analysis on the prevalence of depression in perimenopausal and postmenopausal women in India. *Asian Journal of Psychiatry*, 57, 102581, 2021.

Zhou, Q., Wang, B., Hua, Q., Jin, Q., Xie, J., Ma, J., & Jin, F. Investigation of the relationship between hot flashes, sweating and sleep quality in perimenopausal and postmenopausal women: the mediating effect of anxiety and depression. *BMC Women's Health*, 21(1), 293, 2021.

Zhu L, Jiang X, Sun Y, Shu W. Effect of hormone therapy on the risk of bone fractures: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Menopause*, 23(4):461-470, 2016.

A SCIENTOMETRIC REVIEW OF THE LITERATURE ON SEXUALLY TRANSMITTED DISEASES AND CERVICAL CANCER: AN ANALYSIS OF HPV, HPV VACCINE, AND SMEAR TEST

Sema ÜSTGÖRÜL

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi

sema84car@hotmail.com

ORCID:0000-0002-8163-726X

ABSTRACT

This study presents a scientometric review of the literature on sexually transmitted diseases and cervical cancer. It includes an evaluation of human papillomavirus (HPV), HPV vaccine, and Pap smear test. The data of this study were obtained from the Web of Science, PubMed, JSTOR, and Google Scholar database to apply scientometric analysis. The search process followed the steps of a structured systematic review to identify articles related to cervical cancer, HPV and their sexually transmitted diseases concept, which were collected and analysed with the help of VOSviewer. After applying the inclusion and exclusion filters using the above formula, 354 articles were reached in the last five years (2020-2024). In these articles, the words in which these three concepts were used together directly or indirectly were identified. As a result of the analysis, it was determined that 94 of 183 words were used and associated at least 3 times. The scientometrical analysis shows that the researches consist of five clusters. Despite a global trend towards widespread uptake of HPV vaccination and smear testing, there are significant inequalities in access to these tests, particularly in low- and middle-income countries. Studies investigating the combined effects of HPV vaccination and screening interventions suggest that both tactics can be extremely important in reducing the incidence of cervical cancer. It also underlines that there are studies that show that sexually transmitted diseases are linked to cervical cancer and that young people in particular need to be informed about this topic.

Key Words: Cervical Cancer, HPV, Sexually Transmitted Diseases, Pap Smear Test, HPV Vaccine

1. INTRODUCTION

Despite significant advances in prevention and early detection, cervical cancer remains one of the most prevalent forms of cancer among women worldwide (Zhang, et al., 2020). The relationship between cervical cancer and sexually transmitted diseases (STDs), particularly human papillomavirus (HPV), has been well-documented (Disi, et al., 2024; Alotaibi, et al., 2020), with HPV being identified as the primary etiological agent (Xie, et al., 2021; Hughes & Sawleshwarkar, 2023). The introduction of the HPV vaccine and the widespread use of Pap smear testing have shown promise in reducing the incidence of cervical cancer (Goldstein, et al., 2024). However, disparities in access to these preventive measures persist, especially in low- and middle-income countries (LMICs), where the burden of cervical cancer is disproportionately high. This study aims to provide a scientometric analysis of the literature on cervical cancer, HPV, STDs, the HPV vaccine, and Pap smear testing, utilising a comprehensive approach to assess the trends, gaps, and key areas of research within the field. The study utilises a comprehensive approach to analyse recent publications (2020-2024) from prominent

academic databases, including Web of Science (WoS), PubMed, JSTOR, and Google Scholar. The objective is to contribute to the growing body of knowledge in this field and inform public health policies concerning cervical cancer prevention.

2. LITERATURE

The association between HPV and cervical cancer has been the focus of extensive research over the past few decades. HPV, a sexually transmitted virus, is the leading cause of cervical cancer, responsible for the majority of cases worldwide (Okunade, et al., 2020). According to recent studies, persistent infection with high-risk strains of HPV is considered the most significant risk factor for the development of cervical cancer (Zhang, et al., 2020; Na, et al., 2023). As such, HPV testing and vaccination have become central components of preventive strategies (Maver, et al., 2020). The introduction of the HPV vaccine, which provides protection against the most carcinogenic strains of the virus, has been a landmark development in public health, with numerous studies highlighting its effectiveness in reducing the incidence of cervical cancer, particularly in high-income countries where vaccination rates are high. Concurrently, Pap smear testing has been a cornerstone of cervical cancer screening for over half a century. Research has demonstrated that regular Pap smear screening is effective in detecting pre-cancerous lesions in the cervix, facilitating early intervention and achieving a substantial reduction in cervical cancer morbidity and mortality rates (Yusuf, 2024; Teklehaimanot, et al., 2024; Liu & Zheng, 2024). Research indicates that socioeconomic factors, cultural beliefs and limited healthcare infrastructure contribute to these disparities. Moreover, recent literature has begun to examine the combined impact of HPV vaccination and screening programs on reducing cervical cancer rates, with several studies suggesting that when these preventive measures are used together, they have a synergistic effect, greatly enhancing the efficacy of cervical cancer prevention. Furthermore, research is ongoing to explore how co-infections with other sexually transmitted pathogens may influence the progression of cervical cancer.

3. METHODOLOGY

This study compiled the studies on the concepts of cervical cancer and HPV by conducting a comprehensive literature analysis from an STD perspective. The study data were obtained from the Web of Science (WoS) database and analysed with the help of VOSviewer.

3.1. Data Collection

The data of this study were obtained from the Web of Science (WoS), PubMed, JSTOR, and Google Scholar database to apply scientometric analysis. The search process followed the steps of a structured systematic review to identify articles related to cervical cancer, HPV and their STD concept, which were collected and analysed.

The search was performed using a combination of the following formulated keywords: ‘Cervical Cancer’ AND “HPV” OR “STDs OR ”Pap Smear’ OR ‘HPV Vaccine, refined by “English” (as language) OR “2020-2024” (as date) OR “Review article” (as document type).

4. RESULTS

After applying the inclusion and exclusion filters using the above formula, 354 articles were reached in the last five years (2020-2024). In these articles, the words in which these three concepts were used together directly or indirectly were identified. As a result of the analysis, it was determined that 94 of 183 words were used and associated at least 3 times. The keywords used together within the scope of these criteria are shown in Figure 1.

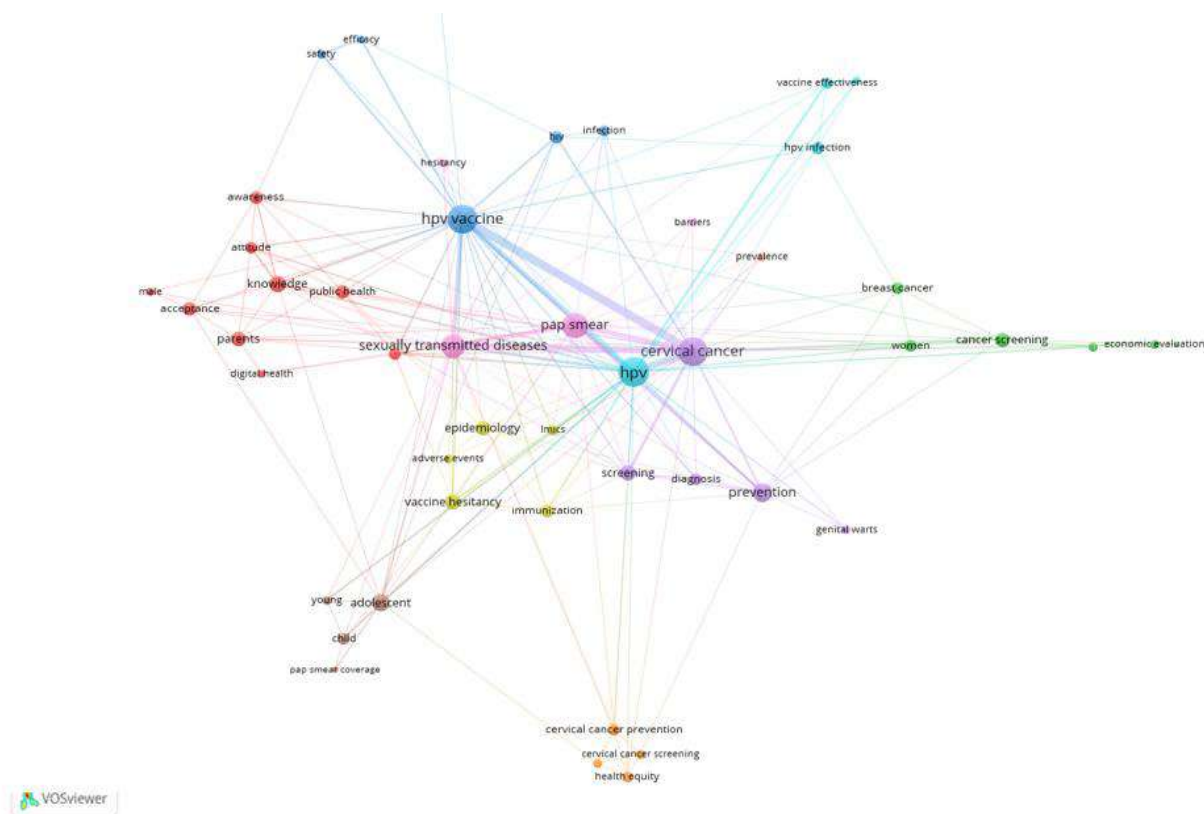


Figure 1: Map of key words used together

This cluster encompasses a range of topics related to cervical cancer, including the human papillomavirus (HPV), the HPV vaccine, Pap smear, sexually transmitted diseases (STDs), prevention strategies, epidemiological principles, vaccine hesitancy, screening procedures, and immunization.

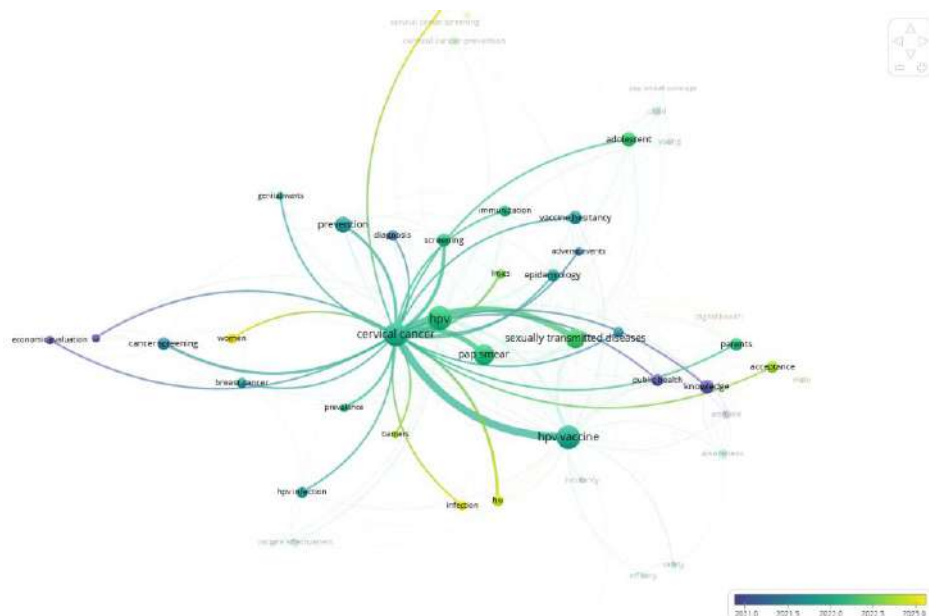


Figure 2: The most frequently used keywords in the context of cervical cancer

The most frequently occurring keywords within this cluster include HPV, HPV vaccine, pap smear, STDs, cervical cancer, adolescent, prevention, and knowledge.

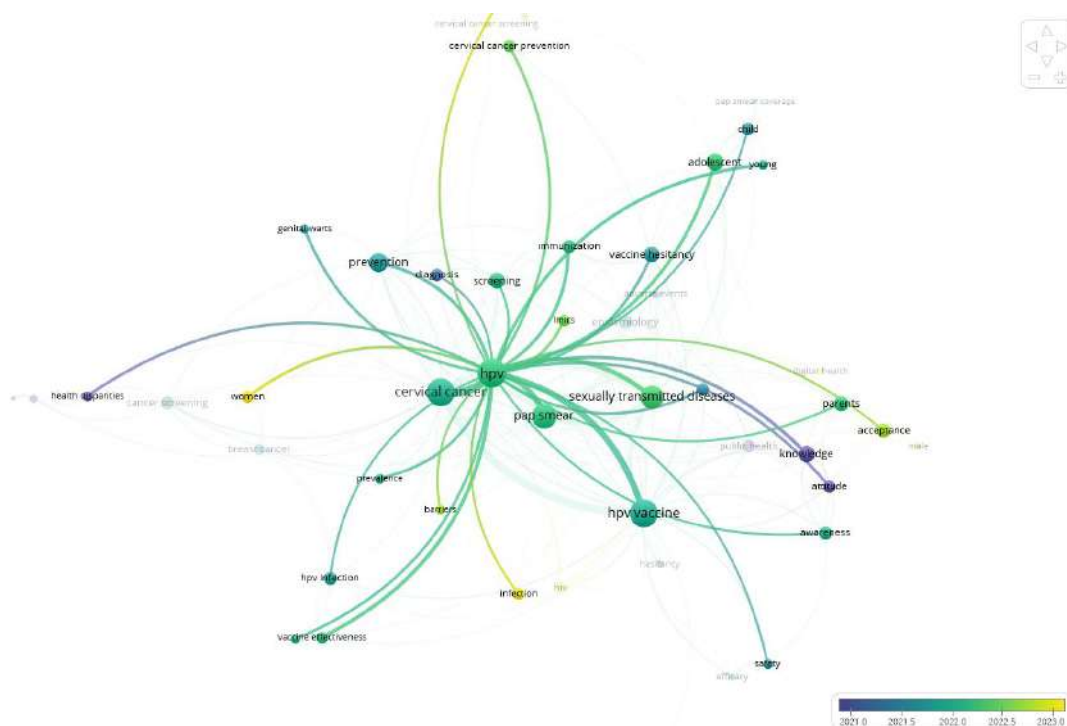


Figure 3: The most frequently used keywords in the context of HPV

The most frequently occurring keywords within the context of sexually transmitted diseases (STDs) include the HPV, the HPV vaccine, Pap smear, cervical cancer, adolescents, prevention, vaccine effectiveness, and cervical cancer.

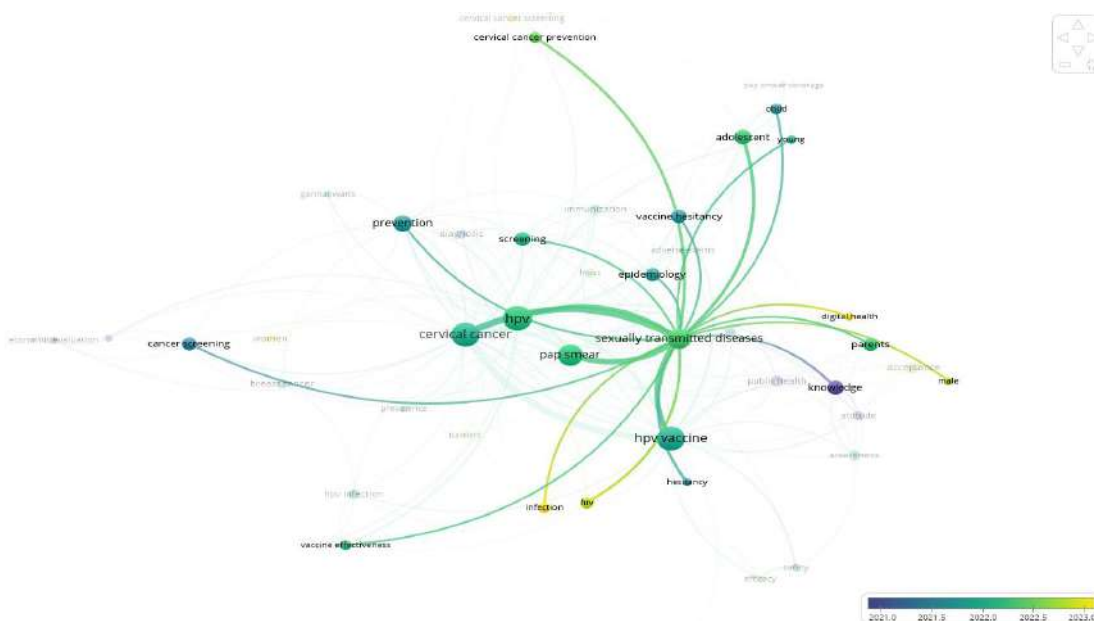


Figure 4: The most frequently used keywords in the context of sexually transmitted diseases

The most frequently occurring keywords within the context of Pap smears include the following: HPV, HPV vaccine, STDs, cervical cancer, adolescents, prevalence, infection, women, barriers, screening, and public health.

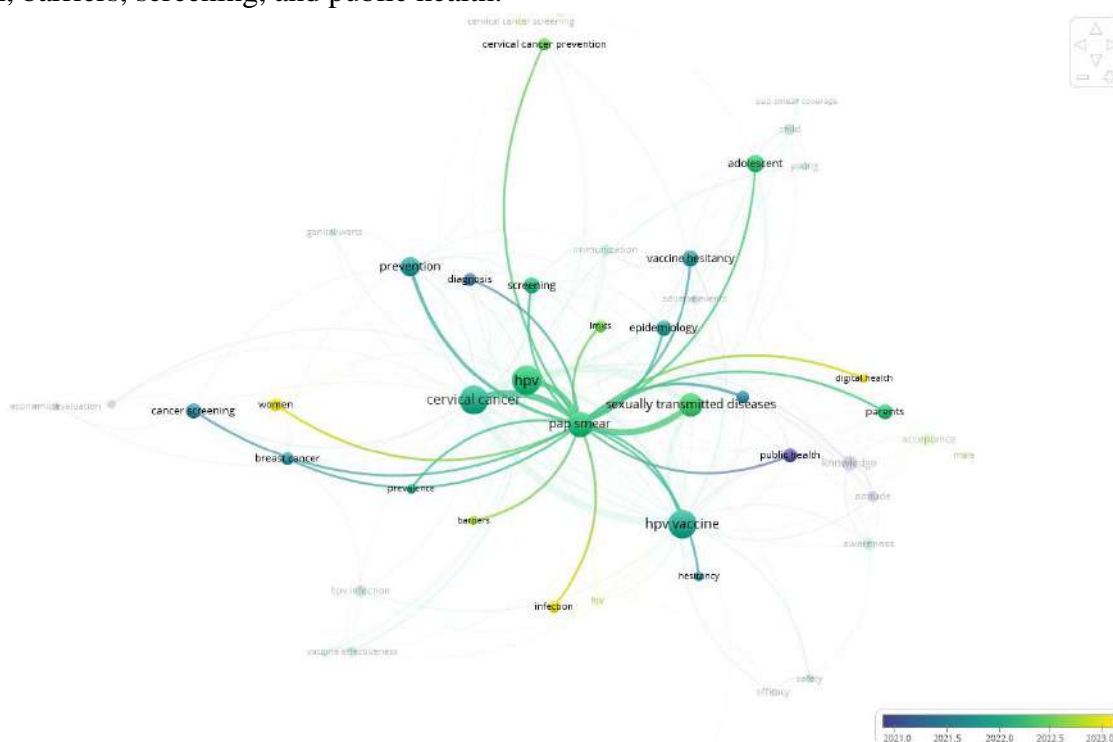


Figure 5: The most frequently used keywords in the context of Pap smears

In the context of HPV vaccination, the most commonly occurring keywords include the HPV virus itself, the efficacy of the vaccines used, the prevalence of HPV, and the factors influencing

the acceptance of the vaccine, such as hesitancy and awareness. Additionally, the keywords encompass other pertinent terms such as sexually transmitted diseases (STIs), cervical cancer, and adolescents.

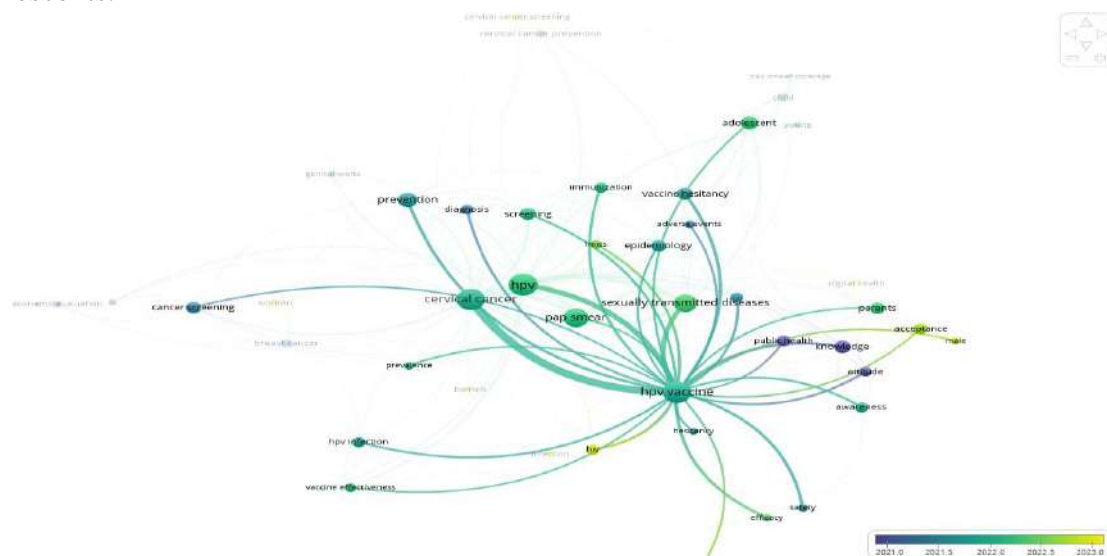


Figure 6: The most frequently used keywords in the context HPV vaccination

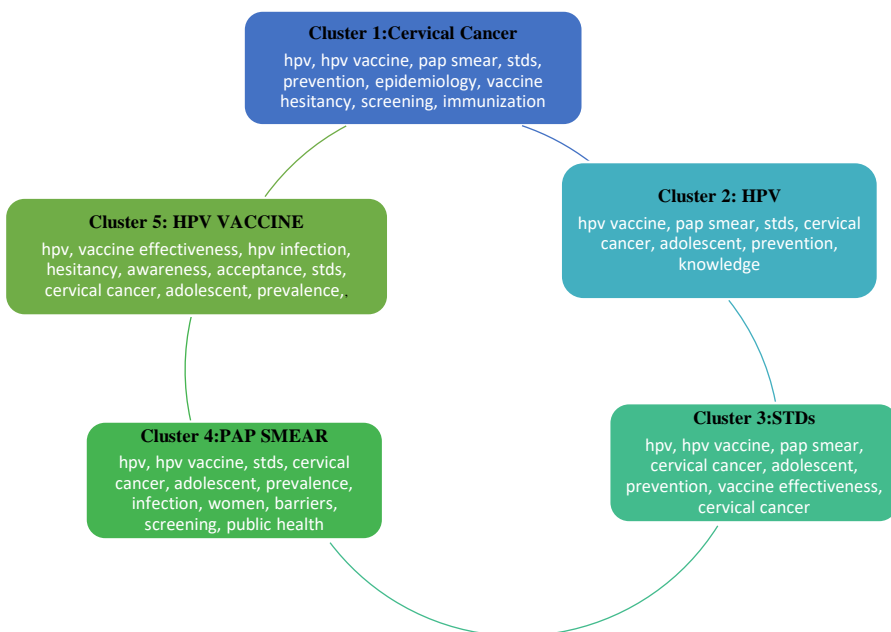


Figure 7: Key words clusters

Cluster 1: Cervical Cancer: (linking key words: hpv, hpv vaccine, pap smear, stds, prevention, epidemiology, vaccine hesitancy, screening, immunization)

This cluster includes studies on the risk factors, especially sexual transmitted diseases, early detection techniques, and treatment approaches for cervical cancer. This cluster also looks at cervical dysplasia, cervical cancer stages, and preventative measures.

Cluster 2: HPV (Human Papillomavirus) (linking key words: hpv vaccine, pap smear, stds, cervical cancer, adolescent, prevention, knowledge)

This cluster focuses on the function of HPV, possibly particularly high-risk strains such as HPV-16 and HPV-18. This cluster comprises studies examining the genetic structure of HPV and the relationship between HPV infection and cervical cancer progression. Additionally, studies on HPV's and sexual transmitted diseases are included.

Cluster 3: Sexually transmitted diseases (STDs) (linking key words: hpv, hpv vaccine, pap smear, cervical cancer, adolescent, prevention, vaccine effectiveness, cervical cancer)

This cluster focuses on important STI topics, in particular genital warts and HPV infections. In addition, issues such as the prevalence of STDs, transmission routes, STDs that are probably more contagious among young people and the link between HPV and other STDs are also addressed.

Cluster 4: Pap Smear Test (linking key words: hpv, hpv vaccine, stds, cervical cancer, adolescent, prevalence, infection, women, barriers, screening, public health)

One essential technique for the early identification of cervical cancer is smear testing. The function of Pap Smear and HPV tests, screening programs, early detection techniques, and screening intervals are all included in this cluster. This cluster also probably includes methods like cytological studies and colposcopy.

Cluster 5: Vaccine against HPV (linking key words: hpv, vaccine effectiveness, hpv infection, hesitancy, awareness, acceptance, stds, cervical cancer, adolescent, prevalence)

This cluster compiles studies on HPV vaccine efficacy, vaccine distribution, immunisation concerns and immunisation. Research in this cluster discusses the effectiveness of the HPV vaccine as well as methods to increase immunisation rates globally. In addition, issues such as the equality of the HPV vaccine and its contribution to the prevention of cervical cancer are also highlighted.

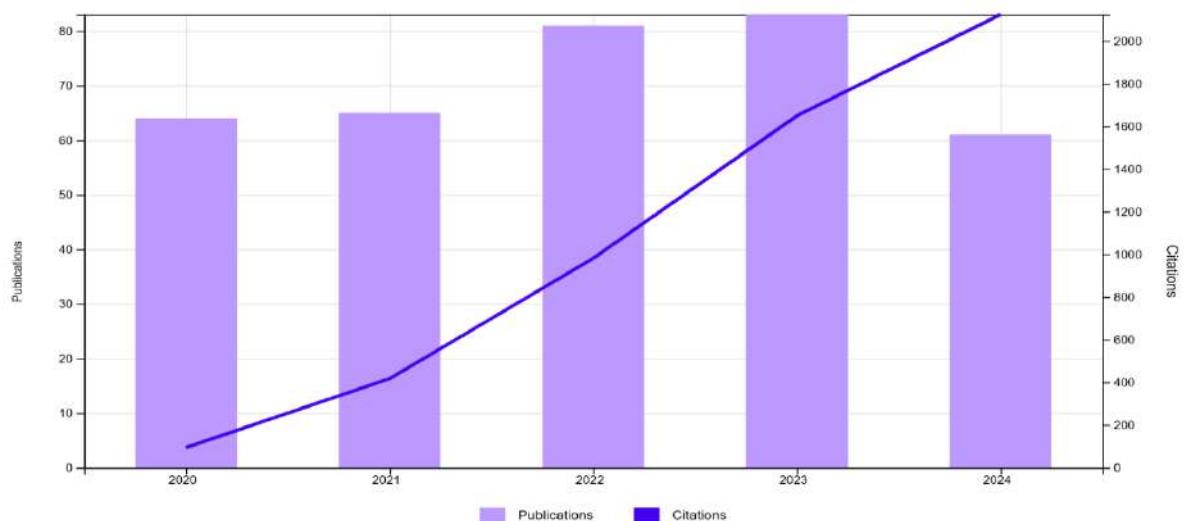


Figure 8: Times Cited and Publications Over Time

There were 64 researches and 94 citations in 2020, 65 researches and 417 citations in 2021, researches 81 and 981 citations in 2022, 83 researches and 1649 citations in 2023 and 61 researches and 2123 citations in 2024.

The co-citation and keyword analysis conducted when other databases, including PubMed, JSTOR, and Google Scholar, were searched and analysed using scientometric methods, is presented in the table below. The keyword concurrency analysis indicates that HPV vaccination should be integrated with regular cervical cancer screening.

Table 1: The co-citation and keyword analysis

Scientometric Cluster	Basic Variables	Related Keywords
Sexually Transmitted Diseases (STDs)	HPV Infections, Genital Warts, Sexual Health	HPV, STI, Chlamydia, Gonorrhoea, Syphilis, HIV, STD prevention, Transmission Routes, Public Health
HPV (Human Papillomavirus)	HPV Types, HPV-16, HPV-18	HPV-16, HPV-18, Oncogenic HPV, HPV genome, Cervical Cancer, Molecular Pathogenesis, HPV DNA Testing
HPV Vaccine	Vaccination Efficacy, Vaccination Coverage, Vaccination Programmes	Gardasil, Cervarix, Vaccine Effectiveness, Vaccine Distribution, Global Vaccination, HPV Vaccine Equity
Smear test (Pap smear)	Cervical Screening, Early Diagnosis, Screening Programmes	Pap test, Cervical Cytology, Screening Programmes, HPV Test, Colposcopy, Screening Intervals
Cervical Cancer	Cervical Cancer, Carcinogenesis, Early Diagnosis, Treatment	Cervical Cancer, Carcinogenesis, Cervical Dysplasia, Cancer Staging, Chemotherapy, Radiotherapy, Preventive Strategies

5. DISCUSSION

According to this literature review, which focused on the studies conducted between 2020 and 2024, scientometrically analysed studies show that despite a global trend towards widespread uptake of HPV vaccination and smear testing, there are significant inequalities in access to these tests, particularly in low- and middle-income countries. Studies investigating the combined effects of HPV vaccination and screening interventions suggest that both tactics can be extremely important in reducing the incidence of cervical cancer. It also underlines that there are studies that show that STIs are linked to cervical cancer and that young people in particular need to be informed about this topic.

6. CONCLUSION

This scientometric analysis of the extant literature pertaining to HPV, cervical cancer and its associated prevention methods reveals both considerable advances and notable challenges in the global effort to address the issue of cervical cancer. While the widespread implementation

of HPV vaccination and Pap smear screening has resulted in a decline in the incidence of cervical cancer, access to these crucial services remains disproportionate, particularly in low- and middle-income countries. The study identifies five key areas for future research: cervical cancer, HPV, STDs, the Pap smear test, and the HPV vaccine. Each of these areas is characterised by a distinct set of associated variables and interconnected research themes.

6.1. Limitations

Despite a comprehensive nature of this scientometric analysis, several limitations must be recognised.

Firstly, the study's inclusion of articles solely from the Web of Science, PubMed, JSTOR, and Google Scholar databases may fail to encompass the full scope of global research, particularly in non-English languages or more regional publications. Secondly, while the study's time frame (2020-2024) ensures a focus on recent trends, it may overlook long-term studies that provide valuable insights into the evolving landscape of cervical cancer prevention.

6.2. Suggestions for Future Research

Future research endeavours should prioritize the identification of research gaps in the domain of cervical cancer prevention, with a particular focus on investigating the factors influencing the uptake of HPV vaccination and Pap smear testing in LMICs. Studies exploring the role of education, awareness campaigns, and healthcare policy reform in increasing access to these services are of particular importance, and further research is required to elucidate the interplay between HPV and other STDs in the progression of cervical cancer, with an emphasis on co-infections and their impact on screening and treatment outcomes. Furthermore, the potential of new diagnostic technologies and vaccine formulations to improve cervical cancer prevention and treatment strategies, particularly in underserved populations, should be explored in future studies.

7. REFERENCES

Alotaibi, H. J., Almajhdi, F. N., Alsaleh, A. N., Obeid, D. A., Khayat, H. H., Al-Muammer, T. A., ... & Alhamlan, F. S. Association of sexually transmitted infections and human papillomavirus co-infection with abnormal cervical cytology among women in Saudi Arabia. *Saudi journal of biological sciences*, 27(6), 1587-1595, 2020.

DiSi, A., Xiao, B., & Xi, S. 250 Association between human papillomavirus infection and common sexually transmitted infections, and the clinical significance of different mycoplasma subtypes, 2024.

Goldstein, A., Gersh, M., Skovronsky, G., & Moss, C. The Future of Cervical Cancer Screening. *International Journal of Women's Health*, 1715-1731, 2024.

Hughes, Y., & Sawleshwarkar, S. Sexually Transmitted Diseases: An Overview. *Sexually Transmissible Oral Diseases*, 1-24, 2023.

Liu, Y., & Zheng, W. Cervical Cancer Development, Screening, and Prevention. In *Gynecologic and Obstetric Pathology* (pp. 1-16). Singapore: Springer Nature Singapore, 2024.

Maver, P. J., & Poljak, M. Primary HPV-based cervical cancer screening in Europe: implementation status, challenges, and future plans. *Clinical microbiology and infection*, 26(5), 579-583, 2020.

Na, J., Li, Y., Wang, J., Wang, X., Lu, J., & Han, S. The correlation between multiple HPV infections and the occurrence, development, and prognosis of cervical cancer. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1220522, 2023.

Okunade, K. S. Human papillomavirus and cervical cancer. *Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 40(5), 602-608, 2020.

Teklehaimanot, D. A., Mekuria, A. D., Dadi, A. F., & Derseh, B. T. Precancerous lesion determinants in women attending cervical cancer screening at public health facilities in North Shoa Zone, Amhara, Ethiopia: an unmatched case-control study. *BMC Women's Health*, 24(1), 271, 2024.

Xie, L., Li, Q., Dong, X., Kong, Q., Duan, Y., Chen, X., ... & Liu, T. Investigation of the association between ten pathogens causing sexually transmitted diseases and high-risk human papilloma virus infection in Shanghai. *Molecular and Clinical Oncology*, 15(1), 1-7, 2021.

Yusuf, M. Perspectives on Cervical Cancer: Insights into Screening Methodology and Challenges. *Cancer Screening and Prevention*, 3(1), 52-60, 2024.

Zhang, S., Xu, H., Zhang, L., & Qiao, Y. Cervical cancer: Epidemiology, risk factors and screening. *Chinese Journal of Cancer Research*, 32(6), 720, 2020.

BIOLOGICAL AGE DETERMINATION BASED ON DNA METHYLATION

Dr. Fatma CAVUS YONAR

Istanbul University-Cerrahpasa, Institute of Forensic Sciences and Legal Medicine

fatma.cavus@iuc.edu.tr - 0000-0001-5941-8434

ABSTRACT

In the elucidation of criminal incidents, it is necessary to identify the evidence at the crime scene in order to catch the criminal or criminals and protect the rights of the innocent. In forensic genetics, which is an important field in the identification of evidence, many biomarkers have been used from past to present. Although traditional methods used in biological age estimation are based on the analysis of teeth or long bones, it may not be possible to find these remains in every forensic case. Radiologic methods are routinely used to determine the age of individuals by examining the degree of closure of the epiphyseal lines of certain bones, and bone age is determined with various atlases. Molecular methods used in age estimation include mitochondrial DNA deletion, telomere shortening, advanced glycation end products (AGE) and circular excision of T-cell receptors. However, these methods cannot be applied to all body tissues, have high error rates in age estimation and are not suitable for the routine functioning of forensic laboratories.

Current methods used by forensic laboratories in age determination are epigenetic mechanisms. One of these mechanisms is DNA methylation. In forensic sciences, DNA methylation-based analyses can be used in the separation of monozygotic twins, biogeographic ancestry analysis, determination of the origin of body fluids, biological age and wound age estimation. DNA methylation has a relationship with the aging process and gene regions related to growth and development are hypomethylated and decreased with aging. Thus, age estimation with low error rate can be done by using age-related gene regions. In this study, the methods used for age estimation, the advantages and disadvantages of these methods are evaluated, how factors such as smoking, dietary habits, exercise and stress change the level of DNA methylation are examined and various inferences are made in the light of the data obtained.

Anahtar Kelimeler: DNA methylation, epigenetics, biological age estimation, forensic science

DNA METİLASYONUNA DAYALI BİYOLOJİK YAŞ TAYİNİ

Dr. Fatma ÇAVUŞ YONAR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü,

fatma.cavus@iuc.edu.tr - 0000-0001-5941-8434

ÖZET

Kriminal olayların aydınlatılmasında, suçlu ya da suçluların yakalanıp masumların haklarının korunabilmesi için olay yerindeki delillerin kimliklendirilmesi gerekir. Delillerin kimliklendirilmesinde önemli bir alan olan adli genetikte geçmişten günümüze kadar pek çok biyobelirteç kullanılmıştır. Biyolojik yaş tahmininde kullanılan geleneksel yöntemler dişlerin veya uzun kemiklerin analizine dayanmasına rağmen her adli olayda bu kalıntılara rastlamak mümkün olamayabilmektedir. Bireylerin yaş tayininde rutinde kullanılan radyolojik yöntemlerle belirli kemiklerin epifiz hatlarının kapanma dereceleri incelenir, çeşitli atlaslar ile kemik yaşı tayin edilir. Yaş tahmininde kullanılan moleküler yöntemler ise mitokondriyal DNA delesyonu, telomer kısalması, ileri glikasyon son ürünleri (AGE) ve T- hücre reseptörlerinin dairesel eksizyonu şeklindedir. Ancak bu metotlar tüm vücut dokularına uygulanamadığı gibi, yaş tahmininde hata oranlarının da yüksek olmasının yanı sıra adli laboratuvarların rutin işleyişine uygun yöntemler değildirler.

Yaş tayininde adli laboratuvarlar tarafından kullanılan güncel yöntemler ise epigenetik mekanizmalardır. Bu mekanizmalardan biri de DNA metilasyonudur. Adli bilimlerde DNA metilasyonuna dayalı analizler; monozigotik ikizlerin ayrımı, biyocoğrafik soy analizi, vücut sıvılarının orijininin belirlenmesi, biyolojik yaş ve yara yaşı tahmininde kullanılabilir. DNA metilasyonunun yaşlanma süreci ile bir ilişkisi vardır ve yaşlanma ile beraber büyüme ve gelişmeyle ilgili gen bölgeleri hipometilasyona uğrayarak azalmaktadır. Böylece yaş ile ilgili gen bölgeleri kullanılarak hata oranı düşük yaş tahmini yapılabilir. Bu çalışmada yaş tahmini için kullanılan yöntemler, ilgili yöntemlerin avantajları ile dezavantajları değerlendirilmekte, sigara kullanımı, beslenme alışkanlıkları, egzersiz ve stres gibi faktörlerin DNA metillenme düzeyini nasıl değiştirdiği incelenmekte ve elde edilen veriler ışığında da çeşitli çıkarımlar yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: DNA metilasyonu, epigenetik, biyolojik yaş tahmini, adli bilimler

1. GİRİŞ

Epigenetik, DNA dizisinde değişme olmadan genin ifadesindeki kalıtsal değişikliklere sebep olan tersinir modifikasyonlardır (Chukwuma Sr, 2022). Epigenetik modifikasyonlar; kromatinin yeniden modellenmesi, histon modifikasyonları, kodlanmayan RNA'lar ve DNA metilasyonu gibi mekanizmalarla düzenlenir (Vidaki vd., 2013). DNA metilasyonu, DNA metiltransferaz (DNMT) enzimi aracılığıyla CpG dinükleotitlerinde sitozinin 5' ucuna metil (-CH₃) grubunun eklenmesi sonucu oluşur (Kader & Ghai, 2015). DNA metilasyonu, gen

ifadesini düzenleyerek genlerin aktif ya da inaktif olmasına katkı sağlar. Oluşan metilasyon patterni (profili) kalıtsal olarak sonraki nesillere aktarılabilmektedir (Chukwuma Sr, 2022).

Adli bilimler alanında DNA metilasyon analizi; vücut sıvılarının orijinin belirlenmesi, monozigotik ikizlerin ayrımı, biyocoğrafik soy analizi ve yaş tahmininde kullanılabilmektedir (Manisha Rana vd., 2023). Yaş tahmininde kullanılan geleneksel yöntemler; dişlerin veya uzun kemiklerin analizine dayanmaktadır. Ancak her adli olayda bu kalıntılara rastlamak mümkün değildir. Moleküler yöntemler ise mitokondriyal DNA delesyonu, aspartik asit rasemizasyonu, ileri glikasyon son ürünleri (AGE), telomer kısalması ve T-hücre reseptörlerinin dairesel eksizyonu şeklinde sayılabilir. Ancak bu metotlar da tüm vücut dokularına uygulanmadığı gibi, biyolojik yaşın tahmininde hata oranları da yüksektir. Ayrıca adli laboratuvarların rutin işleyişine de uygun yöntemler değildirler (Freire-Aradas vd., 2017). Son yıllarda yapılan çalışmalarda dokuya özgü CpG bölgelerinde gerçekleşen hipometilasyon veya hipermetilasyonun (metilasyon paterninin) kronolojik yaşla korelasyon içinde olduğu ve diğer yöntemlere göre daha güvenilir sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Kader & Ghai, 2015).

2. ADLİ BİLİMLERDE BİYOLOJİK YAŞ TAYİNİ

Adli bir vaka gerçekleştiğinde suçun aydınlatılabilmesi için olay yerinden toplanan örneklerin şüpheli(ler)den alınan örneklerle karşılaştırılması gerekmektedir. Ancak olay yerinden toplanan örneğin karşılaştırılabileceği bir veri bulunmadığında ya da DNA veri bankasında bir eşleşme yakalanmadığında fail ile ilgili bir sonuca ulaşılamaz. Bu nedenle karşılaştırılacak bir numune bulunmadığında, kişilerin fenotipik özelliklerinin belirlenebileceği başka veriler elde edilmeye çalışılır (Schneider vd., 2019). Kimliklendirmede; genotipik profillemeye yapılmasının yanı sıra canlı ve ölü kişilerin yaş, boy, cinsiyet, göz, saç ve ten rengi gibi bazı fenotipik özellikleri açığa çıkarılmaya çalışılır. Kişinin kimliğinin ortaya konmasında özellikle yaş tayini önem arz eden bir konudur. Yaş tayini; askerlik yapma, memur ya da emekli olabilme, evlenebilme, ehliyetin alınabilmesi, miras durumları, yaş ile ilgili bir sınırlamanın olduğu mesleklerde, zamanında kimlik kartının alınamaması durumunda, adli vakalarda kimliği bilinmeyen cesetlerin ve felaket kurbanlarının yaşının saptanmasında, insan kaçakçılığında, çocuğa yönelik cinsel istismar ve reşit olmayanla cinsel ilişki suçlarında, şüpheli nüfus kayıtlarının var olduğu durumlarda yapılmaktadır (Şener & Polat, 2020). Adli bilimlerde yaş tayininde kullanılan çeşitli geleneksel ve güncel yöntemler bulunmaktadır. Yaş tayininde kullanılan geleneksel yöntemlerden başlıcaları radyolojik, morfolojik ve histolojik yöntemlerken, güncel yöntemlerde ise epigenetik mekanizmalar devreye girmektedir.

2.1. Biyolojik Yaş Tayininde Kullanılan Geleneksel Yöntemler

Radyolojik yöntem, yaş tespitinde en sık kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde kemiklerin epifiz hatlarının kapanma dereceleri radyografiler ile incelenir ve atlaslar aracılığıyla kemik yaşı tayin edilmeye çalışılır. Radyolojik yöntemde özellikle kişilerin el-bilek radyografileri kullanılır (Arslan vd., 2007). Radyolojik yöntemde Greulich-Pyle Atlası, Tanner-Whitehouse Atlası ve Adli Tıpta Yaş Tayini olmak üzere kullanılan üç tür atlas bulunmaktadır (Schranz, 1959). Türkiye’de kullanılan Adli Tıpta Yaş Tayini atlası yaşları 1 ile 50 arasında değişen kişiler baz alınarak hazırlanmıştır. Yaş ile ilgili rapor yaş ile ilişkili boy, kilo, diş sayısı ve radyolojik görüntülerin incelenmesi ve davaya konu olmuş kişinin bulgularının mukayese edilmesi

sonucunda hazırlanır (Karabakır, 2015). Greulich-Pyle metodunda yaş ve cinsiyet faktörleri birlikte ele alınmıştır. Yaş tahmini yapılması istenen kişinin grafileri, atlarda bulunan grafilerle karşılaştırılır ve en iyi eşleşmeyi gösterenler kabul edilerek olgunun yaşına karar verilir (Greulich&Pyle; 1971). Tanner-Whitehouse metodunda ise el ve el bilek kemiklerinin kemikleşme dereceleri cinsiyet baz alınarak derecelendirilmiştir. Yaş tahmini yapılması istenen kişinin grafilerinden kemiklerin kemikleşme dereceleri atlas aracılığıyla cinsiyete göre derecelendirilir. Bu dereceler, en uygun yaşla ilişkilendirilerek yaş tahmini yapılır (Tanner vd., 1983). Greulich-Pyle metodu, Tanner-Whitehouse metoduna göre çok daha kolay uygulandığından kullanımı yaygındır. Radyolojik yöntemler, konvansiyonel ve güvenilir olmasına rağmen kesin bir yaş vermez. Ayrıca yaş tayini için kullanılan yöntemler ile yirmi iki yaşa kadar olan vakalarda kişinin yaşı rahatça tespit edilebilirken kişilerin yaşının 25-40 arası olduğu durumlarda yaş tayini yapmak çok daha zor bir hale gelmektedir (Yılmaz, 2006). Bu sebeple kesin yaş tayininin yapılabilmesi için geleneksel yöntemlerin güncel yöntemler ile desteklenmesi gerekmektedir.

Morfolojik yöntem, kemiklerin boyu, rengi, genişliği ve yüzey değişimi gibi çeşitli niteliklerini baz alarak yaş tahmininin mukayese ile yapılmasına dayanmaktadır. Morfolojik çalışmalar, ilk kez 1920 yılında Todd'un pubis simfizisin yaşa bağlı olarak gösterdiği değişimlerin esas alınması ile başlamıştır (Todd, 1920). Bu yöntemin avantajı, küçük bir yönü, küçük bir kosta parçası ile dahi yaş tayininin yapılmasına imkan vermesidir (Isır, 2009).

Histolojik Yöntem, yaş tayini için kullanılan yöntemler arasında en yenisidir. Genel olarak morfolojik belirteçlerin bulunmadığı veya hasar gördüğü durumlarda yaş tahminine alternatif bir yaklaşım olarak sunulmuştur (Dominguez&Mavroudas; 2019).

2.2. Yaş Tayininde Kullanılan Güncel Yöntemler

Epigenetik, DNA dizisinin dışındaki mekanizmaların neden olduğu gen fonksiyonundaki veya hücre fenotipteki kalıtsal değişikliklerin incelenmesini ifade eder (Vidaki vd., 2013). Epigenetik mekanizmalar; histon modifikasyonları, kromatinin yeniden düzenlenmesi, kodlanmayan RNA'lar ve DNA metilasyonu olarak bilinmektedir (Weinhold, 2006).

Histon proteinleri, gen ifadesinin düzenlenmesinde rol oynamakta ve bu proteinlerin N-terminal uçlarındaki kuyruklara eklenen grupların çeşidine göre farklı isimler almaktadır. Bu proteinlerin N-terminal uçlarına asetil gruplarının eklenmesiyle asetilasyon, metil grubunun eklenmesiyle metilasyon, fosfat grubunun eklenmesiyle fosforilasyon, ubiquitin proteinlerinin eklenmesiyle ubiquitinasyon, SUMO proteinlerinin eklenmesiyle sumolasyon meydana gelmektedir (Bannister&Kouzarides, 2011).

Kromatinin yeniden düzenlenmesi; DNA metilasyonu, histon modifikasyonları ve kromatin düzenleyicileri ile gerçekleşmektedir. Gen anlatımında rol oynayan sinyal molekülleri, kromatinin yeniden düzenlenmesi ile hedef DNA bölgesine ulaşımı sağlanır. Gen ekspresyonunda önemli olan sinyal moleküllerinin, kromatinin yeniden düzenlenmesi sayesinde hedef DNA bölgesine erişim sağlamasıdır (Carlberg&Molnár, 2018).

Kodlanmayan RNA'lar, DNA'dan transkribe edildikten sonra translasyona uğramaz ve proteine dönüşmezler. Bu moleküller, gen susturulmasını post-transkripsiyonel düzeyde

gerçekleştirirler ve temel olarak iki ana kategoriye ayrılırlar. Kısa kodlanmayan RNA'lar, çeşitli sistemler ile gen anlatımında etkili iken uzun kodlanmayan RNA'lar transkripsiyon, nükleer düzenleme ve mRNA stabilitesinin kontrolünde etkilidir (Hombach&Kretz, 2016).

Epigenetik mekanizmalardan biri olan DNA metilasyonu genomda en iyi tanımlanmış olanıdır. DNA metilasyonu adli bilimlerde; yaş tahmini, vücut sıvılarının kimliklendirilmesi ve tek yumurta ikizlerinin ayırt edilmesinde kullanılmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar ile DNA metilasyonunun adli bilimlerde kimliklendirmeye katkı sağlayabileceği ortaya konmuştur (Kader&Ghai, 2015).

DNA metilasyonu, CpG dinükleotidlerindeki sitozin kalıntılarının 5' pozisyonuna bir metil grubunun eklenmesi ile oluşur. DNA metilasyonu normal gelişim için hayati bir biyokimyasal süreç olduğundan yaşla doğrudan bir ilişkisi bulunmaktadır. Bu nedenle büyüme ve gelişmede etkili genlerin promotör bölgelerindeki CpG adacıklarında bulunan DNA metilasyon belirteçlerinin metilasyon profilleri analiz edilerek yaş tahmini yapılabilmektedir (Maulani&Auerkari, 2020). Yaşla ilişkili DNA metilasyon değişimleri, epigenetik drift ve epigenetik saat olarak bilinen olaylarla açıklanmaktadır. Epigenetik drift (kayma), bireyin maruz kaldığı çevre ve yaşam şartlarının, diğer yaşlıları ile epigenom farklılıklarının görülmesini ifade etmektedir. Epigenetik kaymaya sigara ve alkol kullanımı, beslenme şekli ve fiziksel aktivitenin neden olduğu bilinmektedir (Lee vd., 2016). Epigenetik saat ise bireyler arasında yaşa bağlı meydana gelen DNA metilasyon modellerini ifade etmektedir.

Yaşlanma ile beraber büyüme ve gelişme ile ilgili gen bölgeleri hipometilasyona uğrayarak azalacağından yaş ile ilgili gen bölgeleri kullanılarak yaş tahmini yapılabilmektedir). Fakat kişinin beslenme biçimi, alışkanlıkları, alkol ya da sigara gibi bağımlılıkları ve stres durumu, metilasyon seviyelerinde değişiklik oluşturduğundan DNA metilasyonu ile yaş tahmini yapılırken birçok değişken çevresel faktörün etkili olduğu unutulmamalıdır (Vidaki&Kayser, 2017). Ayrıca her bir doku örneği farklı metilasyon modeline sahip olduğundan metilasyonla yaş tayini yapabilmek için her dokunun ayrı ayrı çalışılması gerekmektedir. Bu sebeple de günümüzde birçok doku örneği, farklı etkenleri içine alacak şekilde metilasyon çalışmalarında kullanılmakta ve yaş tayini güncel ve dinamik yöntemlerle yapılmaktadır (Horvath, 2013).

3. DNA METİLYASYONU VE ÇEVRESEL FAKTÖRLER

Epigenetik modifikasyonların, çevresel faktörlerden etkilendiği yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (Ghai vd., 2020). Örneğin, sigara kullanımı, beslenme alışkanlıkları, egzersiz ve stres gibi faktörler DNA metillenme seviyesini değiştirebilmektedir (Maulani & Auerkari, 2020b). Sigara dumanı, içerdiği kimyasallar ile DNA metilasyonunu birkaç mekanizma üzerinden etkileyen güçlü bir çevresel faktördür (Lee&Pausova, 2013).

Sigara içmek sağlık üzerindeki olumsuz etkilerine rağmen yaygın bir davranış olmakla beraber nüfusun önemli bir kısmı sigara içmeye devam etmektedir (Flouris vd., 2012). Sigara içme alışkanlığı ile ilişkili DNA metilasyon modellerini araştıran çok sayıda çalışma mevcuttur. Sigara dumanı, içinde bulunan kimyasallar nedeniyle DNA metilasyonunu birkaç mekanizma üstünden etkileyen kuvvetli bir çevresel etmendir (Lee&Pausova, 2013). Dahası, DNA metilasyon modelleri, hali hazırda sigara içenleri sigara içmeyenlerden ve ayrıca daha önce sigara içenleri sigara içmeyenlerden ayırmanın bir yoludur (Zhang vd., 2016). DNA metilasyon

değişikliklerinin derecesi sigara içme yoğunluğu (paket-yıl) ile ilişkilidir (Wilson vd., 2017). Sigara dumanı, genomda hem mutajenik hem de epigenetik farklılıklara yol açan, polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve çok fazla kanserojen maddeyi içinde barındıran sayısız kimyasal içermektedir (Talhout vd., 2011). Bunlardan arsenik, krom, formaldehit, polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve nitrozaminler gibi kanserojenler DNA yapısını bozarak DNA hasarına neden olurlar (Smith & Hansch, 2000). Sigara dumanında bulunan nikotin DNA metilasyonuna etki ederek gen ekspresyonunu etkiler. DNA bağlama faktörleri, genlerin düzenlenmesinde rol oynayan proteinlerdir. Bu faktörler, DNA'ya bağlanarak gen ekspresyonunu arttırabilir veya azaltabilirler. Sigara dumanı, DNA bağlama faktörlerinin ekspresyonunu etkileyerek DNA metilasyonunda değişikliklere neden olabileceği gösterilmektedir (Lee&Pausova, 2013). Yine sigara dumanında bulunan karbondioksit, oksijenle rekabet ederek hemoglobine bağlanır ve hipoksiye neden olarak DNA metilasyonunu etkiler. Hipoksi, MAT2A'nın HIF-1a'ya bağımlı regülasyonunu arttırabilir, bu da DNA metilasyonu için kritik olan S-adenosilmetionin üretimini azaltarak genomik demetilasyonu tetikler (Liu vd., 2011).

Vücut kitle indeksi (BMI) DNA metilasyon yaşıyla doğrudan ilişkilidir (Ryan vd., 2020). BMI'nin DNA metilasyon yaşıyla pozitif ilişkili olduğu bulgusunu desteklemek için, artan BMI ve obezitenin, yaşlanmanın bir başka biyobelirteci olan hızlandırılmış telomer kısalması ile de ilişkilendirilmektedir. Obezite, yaşa bağlı birçok hastalık için önemli bir risk faktörüdür. Beyaz kan hücresi dönüşümünü arttıran ve dolayısıyla yaşlanmaya neden olduğu düşünülen artmış oksidatif stres ve proinflamatuvar durumla ilişkilidir. Son çalışmalar alınan kalorinin kısıtlanmasının yaşlanmayı geciktirmede faydalı olabileceğini göstermektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

DNA metilasyonu gelecekte yaş tahmini için güvenilir, doğru ve pratik yöntemlerin geliştirilmesi açısından umut vaat etmektedir. Çeşitli faktörlerin etkisi göz önünde bulundurularak en bilgilendirici ve hassas belirteçleri belirlemek, yaş tahminini rutin adli iş akışlarına entegre etmek için çok önemlidir (Castagnola vd., 2024) Ancak DNA metilasyonu, stres, sigara kullanımı, beslenme alışkanlıkları gibi çok fazla çevresel faktörden etkilenebilmekte ve yaş tahmin oranlarında sapmalara neden olabilmektedir. Daha önce yapılan bir dizi çalışma, erkeklerin kadınlardan daha büyük bir DNA metilasyon yaşına sahip olduğunu bildirmiştir. Bu da kadınların ortalama olarak daha uzun ömürlerini destekleyicidir. Etnik farklılıkların biyolojik yaşa bağlı DNA metilasyonunu nasıl etkilediğine dair çalışmalar ise kısıtlıdır. Bu nedenle geliştirilmiş yaş tahmin panellerinin farklı yaşam alışkanlıklarına sahip bireylerde çalışılarak panelin bu yaşam alışkanlıklarından etkilenip etkilenmediğini ve bu alışkanlıkların yaş tahmininde sapmaya neden olup olmadığını belirlenmesi gerekir.

KAYNAKÇA

Arslan, M. M., Çekin, N., Akçan, R., & Saylak, E. (2008). Hatay Ağır Ceza ve Asliye Hukuk Mahkemelerine 2007 yılında yansıyan yaş tespiti davalarının incelenmesi. Adli Tıp Dergisi, 22(2), 8-13.

- Bannister, A. J., & Kouzarides, T. (2011). Regulation of chromatin by histone modifications. *Cell research*, 21(3), 381-395.
- Carlberg, C., Molnár, F., Carlberg, C., & Molnár, F. (2018). What Is Epigenomics?. *Human Epigenomics*, 3-18.
- Castagnola, M. J., Medina-Paz, F., & Zapico, S. C. (2024). Uncovering Forensic Evidence: A Path to Age Estimation through DNA Methylation. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(9), 4917.
- Chukwuma Sr, C. (2022). Characterization of the clinical and molecular perspectives of epigenetics. *Archives of Clinical Investigation*, 1(1).
- Dominguez, V. M., & Mavroudas, S. (2019). Bone histology for skeletal age-at-death estimation. In *Age estimation* (pp. 145-159). Academic Press.
- Flouris, A. D., Metsios, G. S., Carrill, A. E., Jamurtas, A. Z., Stivaktakis, P. D., Tzatzarakis, M. N., ... & Koutedakis, Y. (2012). Respiratory and immune response to maximal physical exertion following exposure to secondhand smoke in healthy adults. *PLoS One*, 7(2), e31880.
- Freire-Aradas, A., Phillips, C., & Lareu, M. V. (2017). Forensic individual age estimation with DNA: from initial approaches to methylation tests. *Forensic Sci Rev*, 29(2), 121-144.
- Greulich, W. W. (1959). *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist*.
- Hombach, S., & Kretz, M. (2016). Non-coding RNAs: classification, biology and functioning. *Non-coding RNAs in colorectal cancer*, 3-17.
- Horvath, S. (2013). DNA methylation age of human tissues and cell types. *Genome biology*, 14, 1-20.
- Isır, A. B. (2011). Adli hekimlikte yaş tayini. Koç S, Can M, editörler. *Birinci Basamakta Adli Tıp* (2. baskı) İstanbul, 222-234.
- Kader, F., & Ghai, M. (2015). DNA methylation and application in forensic sciences. *Forensic science international*, 249, 255-265.
- Karabakir, B. (2015). Adli olguların canlıda yaş tayini açısından incelenmesi.
- Lee, H. Y., Lee, S. D., & Shin, K. J. (2016). Forensic DNA methylation profiling from evidence material for investigative leads. *BMB reports*, 49(7), 359.
- Lee, K. W., & Pausova, Z. (2013). Cigarette smoking and DNA methylation. *Frontiers in genetics*, 4, 132.
- Liu, Q., Liu, L., Zhao, Y., Zhang, J., Wang, D., Chen, J., ... & Liu, Z. (2011). Hypoxia induces genomic DNA demethylation through the activation of HIF-1 α and transcriptional upregulation of MAT2A in hepatoma cells. *Molecular cancer therapeutics*, 10(6), 1113-1123.
- Maulani, C., & Auerkari, E. I. (2020). Age estimation using DNA methylation technique in forensics: a systematic review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 10, 1-15.

- Rana, M., Ahmed, U., & Kushwaha, P. (2023). DNA Methylation: Bridging life's experience and genetics within forensic scenario. *GSC Biological and pharmaceutical sciences*, 23(2), 042-049.
- Ryan, J., Wrigglesworth, J., Loong, J., Fransquet, P. D., & Woods, R. L. (2020). A systematic review and meta-analysis of environmental, lifestyle, and health factors associated with DNA methylation age. *The Journals of Gerontology: Series A*, 75(3), 481-494.
- Schneider, P. M., Prainsack, B., & Kayser, M. (2019). The use of forensic DNA phenotyping in predicting appearance and biogeographic ancestry. *Deutsches Ärzteblatt International*, 116(51-52), 873.
- Schranz, D. (1959). Critical remarks on the evaluation of age determination characteristics of teeth and bones. *Deutsche Zeitschrift für die Gesamte Gerichtliche Medizin*, 48, 562-575.
- Smith, C. J., & Hansch, C. (2000). The relative toxicity of compounds in mainstream cigarette smoke condensate. *Food and Chemical Toxicology*, 38(7), 637-646.
- Şener, M. T., & Polat, Ş. (2020). Adli yaş tahmini yapılan olguların değerlendirilmesi: retrospektif bir çalışma. *KSU Medical Journal*, 15(2), 1-6.
- Talhout, R., Schulz, T., Florek, E., Van Benthem, J., Wester, P., & Opperhuizen, A. (2011). Hazardous compounds in tobacco smoke. *International journal of environmental research and public health*, 8(2), 613-628.
- Tanner, J. M. (1983). Assessment of skeletal maturity and predicting of adult height (TW2 method). *Prediction of adult height*, 22-37.
- Todd, T. W. (1920). Age changes in the pubic bone. I. The male white pubis. *American journal of physical anthropology*, 3(3), 285-334.
- Vidaki, A., Daniel, B., & Court, D. S. (2013). Forensic DNA methylation profiling—potential opportunities and challenges. *Forensic Science International: Genetics*, 7(5), 499-507.
- Vidaki, A., & Kayser, M. (2017). From forensic epigenetics to forensic epigenomics: broadening DNA investigative intelligence. *Genome biology*, 18, 1-13.
- Weinhold, B. (2006). 'Epigenetics: The Science of Change', *Environmental Health Perspect*, vol. 114, no. 3, pp. 160–167, 2006.
- Wilson, R., Wahl, S., Pfeiffer, L., Ward-Caviness, C. K., Kunze, S., Kretschmer, A., ... & Waldenberger, M. (2017). The dynamics of smoking-related disturbed methylation: a two time-point study of methylation change in smokers, non-smokers and former smokers. *BMC genomics*, 18, 1-15.
- Yılmazer, Ö. (2006). Adli Tıp Kurumu'nda Yaş Tayininde Kullanılan Yöntemin Verimlilik Açısından Değerlendirilmesi. *Uzmanlık Tezi, TC Adalet Bakanlığı Adli Tıp Kurumu, İstanbul*.
- Zhang, Y., Florath, I., Saum, K. U., & Brenner, H. (2016). Self-reported smoking, serum cotinine, and blood DNA methylation. *Environmental research*, 146, 395-403.

INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN FORENSIC SCIENCE: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

Dr. Fatma CAVUS YONAR

Istanbul University-Cerrahpasa, Institute of Forensic Sciences and Legal Medicine

fatma.cavus@iuc.edu.tr - 0000-0001-5941-8434

ABSTRACT

Artificial intelligence entered our lives in the 1950s as computer and computer-related technologies. Over time, it has evolved into web-based and online intelligent systems. However, today, with the rapid developments in technology, various systems have emerged, such as web-based chatbots and applications that can imitate human intelligence with the use of computer systems and have the ability to make human-specific decisions. These systems are capable of analyzing and meeting needs in the presence or absence of people. In the literature, artificial intelligence is defined as computer-based systems that can imitate human intelligence and perform various cognitive processes usually associated with human intelligence such as learning, problem solving, pattern recognition. At the same time, systems that have the ability to perform tasks that require human intelligence, such as visual perception, speech, recognition, decision-making and learning, are also considered within the scope of artificial intelligence. Algorithms and machine learning have been particularly influential in the development of this field of science. Algorithms are a procedure with steps defined to perform a specific function. With this procedure, computers can follow the steps in the procedure and find solutions to problems of different scales. Machine learning is an artificial intelligence discipline that enables machines to learn automatically from data with minimal human intervention.

In recent years, the field of artificial intelligence has been of great importance in forensic sciences. In investigations that are difficult to analyze, artificial intelligence has started to be used and is still actively used in order to clarify the events in a faster and more active manner. As a result of the introduction of algorithms, the examination and interpretation of forensic evidence has moved to another level. For the reasons mentioned above, artificial intelligence is actively used in many fields such as forensic anthropology, forensic odontology, forensic genetics, forensic toxicology, forensic ballistics and forensic informatics. Within the scope of this study, the applications of artificial intelligence in forensic sciences will be discussed and the ethical and legal dimensions of artificial intelligence software related to forensic sciences will be examined.

Anahtar Kelimeler: Artificial intelligence, deep learning, forensic science, digital revolution, ethics

ADLİ BİLİMLERE YAPAY ZEKANIN ENTEGRASYONU:

FIRSATLAR VE ZORLUKLAR

Dr. Fatma ÇAVUŞ YONAR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü

fatma.cavus@iuc.edu.tr - 0000-0001-5941-8434

ÖZET

Yapay zekâ, 1950’li yıllarda bilgisayar ve bilgisayarla ilgili teknolojiler olarak hayatımıza girmiştir. Zaman içinde web tabanlı ve çevrimiçi akıllı sistemlere dönüşmüştür. Ancak günümüzde, teknolojideki hızlı gelişmelerle birlikte, bilgisayar sistemlerinin kullanımıyla insan zekasını taklit edebilen ve insana özgü karar verme yeteneğine sahip uygulamalar ve web tabanlı chatbotlar gibi çeşitli sistemler ortaya çıkmıştır. Bu sistemler, kişilerin varlığında veya yokluğunda ihtiyaç analizi yapabilen ve karşılayabilen bir niteliğe sahiptir. Literatürde yapay zekâ, insan zekasını taklit edebilen ve genellikle öğrenme, problem çözüme, örüntü tanıma gibi insan zekasıyla ilişkilendirilen çeşitli bilişsel süreçleri yerine getirebilen bilgisayar tabanlı sistemler olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda, görsel algı, konuşma, tanıma, karar verme ve öğrenme gibi insan zekâsı gerektiren görevleri yerine getirme yeteneğine sahip olan sistemler de yapay zekâ kapsamında değerlendirilmektedir. Bu bilim alanının gelişmesinde özellikle algoritmalar ve makine öğrenimi etkili olmuştur. Algoritmalar, belirli bir işlevi gerçekleştirmek üzere tanımlanan adımların yer aldığı bir prosedürdür. Bu prosedür sayesinde bilgisayarlar, prosedürde yer alan adımları takip edebilmekte ve değişik ölçekteki sorunlara da çözüm bulabilmektedir. Makine öğrenimi ise makinelerin en az insan müdahalesi ile verilerden otomatik bir biçimde öğrenme işlemini gerçekleştiren bir yapay zeka disiplini.

Son yıllarda adli bilimlere yapay zekanın entegrasyonu ile suçluların tespiti ve kriminal olayların aydınlatılması konularında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Çözümlemesi zor olan soruşturmalarda, olayların daha hızlı ve aktif bir biçimde açığa kavuşturulabilmesi için yapay zeka kullanılmaya başlanmış ve hala aktif bir biçimde de kullanılmaktadır. Algoritmaların da devreye sokulması sonucu adli delillerin incelenmesi ve yorumlanması başka bir seviyeye taşınmıştır. Sayılan nedenler dolayısıyla yapay zeka adli tıp başta olmak üzere adli antropoloji, adli odontoloji, adli genetik, adli toksikoloji, adli balistik ve adli bilişim gibi pek çok alanda aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapay zekanın adli bilimlerdeki uygulamaları tartışılacak ve adli bilimlerle irtibatlı yapay zeka yazılımlarının etik ve hukuki boyutu irdelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, derin öğrenme, adli bilimler, dijital devrim, etik

1.GİRİŞ

Yapay zekâ kavramını insanca düşünmek, insanca davranmak, rasyonel düşünmek ve rasyonel davranmak gibi farklı boyutlarla ilişkilendirmek mümkündür (Pedro vd., 2019). Yapay zekâ, insan zekasının birçok yönünü simüle etmekte ve bu sayede insanlarla etkileşimde bulunabilmekte, problemleri çözebilmekte ve kararlar alabilmektedir. Örneğin, yapay zekâ destekli sistemler, tıp alanında hastalık teşhisi yapabilir, finansal sistemlerde yatırım kararları verebilir veya kişiselleştirilmiş öneriler sunabilmektedir. Yapay zekâ günümüzde hayatımızın her alanında çok geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir ve birçok endüstride insanların hayatını kolaylaştıran bir rol oynamaktadır.

Yapay zekada tanımlanan öğrenme, genellikle büyük verinin temsiline dayanan ve makine öğrenimi yöntemleriyle gerçekleştirilen veri odaklı bir öğrenme sürecini ifade etmektedir. Özellikle derin öğrenme, makine öğreniminin bir alt dalı olarak öne çıkmaktadır. Derin öğrenme, yapay sinir ağları gibi karmaşık yapılardan oluşan algoritmalar aracılığıyla gerçekleştirilmekte olup, yapay sinir ağları, birçok katman içeren bir yapıya sahiptir ve bu katmanlar arasında girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi öğrenme yeteneğine sahiptirler. Yapay sinir ağı, biyolojideki sinir sistemini taklit eden denetimli makine öğrenimi modelinin bir biçimidir (Olawoyin & Chen, 2018). Günümüzde sürücüsüz araçlar, karakter tanıma, görüntü sıkıştırma, borsa tahmini, risk analiz sistemleri, drone kontrolü, kitlelere satış tahmini, acil servis testleri, petrol ve gaz aramaları ve diğer çeşitli uygulamalar yapay sinir ağlarını kullanmaktadır (Dastres & Soori, 2021).

Yapay sinir ağları, veri tabanında bulunan örnek verileri kullanarak bir durum hakkında çıktılar tahmin etmeyi öğrenen yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu örnekler, önceden belirlenmiş girdi ve çıktı ilişkilerini içermekte ve yapay sinir ağları bu ilişkileri analiz ederek çeşitli karmaşık veri kümeleri üzerinde genelleme yapabilmektedir (Dastres & Soori, 2021). Yani, daha önce hiç karşılaşılmamış olaylar hakkında da veri tabanında bulunan örnekler üzerinden çıkarım yaparak çözümler üretebilmeleri mümkün olmaktadır (Zawacki-Richter vd., 2019). Örneğin, bir yapay sinir ağı, birçok örnekle eğitilerek, görüntülerdeki nesnelere tanımak için kullanılabilir. Bu durumu öğrenmemizi sağlayan şemalar ile açıklamak süreci daha anlaşılır hale getirecektir. Öğrenmede, şemalar, bireyin deneyimleriyle şekillenen ve nesnelere, olaylar veya eylemlerle ilgili organize olmuş kavram kümeleridir. Bu kavramlar, bireyin sahip olduğu herhangi bir bilgiyi ve bu bilginin parçaları arasındaki karşılıklı ilişkileri temsil etmektedir. Örneğin, bir kişi bir köpek gördüğünde, zihninde köpeklere ilişkin şema aktive olmaktadır ve bu şema içinde köpeklerin fiziksel özellikleri, davranışları ve ilişkili olduğu diğer kavramlar yer almaktadır. Fakat zihinde köpek ilgili bir şema yok ise var olan bilgiler üzerinden bir çıkarım yapılmaktadır. Çocukların genelleme yapmaları da bu nedenden ortaya çıkmaktadır. Şemalar, bireyin deneyimleriyle şekillenen ve herhangi bir kavramın anlamını anlamasını sağlayan birbirine bağlı fikirler ve ilişkiler sistemidir. Herhangi bir kavram, diğer kavramlarla bütünleştirilerek bu kavrama anlam kazandırılır, böylece kavramın hatırlanması sağlanmaktadır (Çakıcı, 2015). Yapay sinir ağlarının öğrenmesinin de benzer bir süreç izlediğini söylemek mümkündür. Bu sinir ağı, eğitim verisi olarak birçok görüntü ve bu görüntülerdeki nesnelere etiketlerini (örneğin, insan, balina, ağaç vb.) kullanmaktadır. Ardından, bu verilerle beslenen sinir ağı, daha önce hiç görülmemiş yeni bir görüntüdeki nesnelere özelliklerine göre tanıyabilmekte ve sınıflandırabilmektedir. Fakat unutulmamalıdır ki yapay zekâ hangi veriler

ile eğitildiyse size bu veriler üzerinden tanımlama, sınıflama veya çıkarım yapacaktır. Günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan ChatCPT 3.5'un bir üst versiyonunun çıkması ile veri ile eğitilmesi durdurulmuş olup kendisine 2023 yılına ait bir soru sorulduğunda "En son güncelleme tarihim Ocak 2022'dir. Ancak, bu tarihten sonraki gelişmeler hakkında bilgi sahibi değilim." cevabını verecektir (URL-1). Fakat yapay zekâ kullanımında bu durum genellikle göz ardı edilmektedir. Dolayısıyla ile chatbotlar, kullanım amacına uygun olacak şekilde güncelliklerinin teyit edilerek kullanılması oldukça önemlidir.

2. ADLİ BİLİMLERDE YAPAY ZEKA UYGULAMALARI

Son yıllarda çözümlenmesi zor olan soruşturmalarda, olayların daha hızlı ve aktif bir biçimde açığa kavuşturulabilmesi, delillerin hızlı ve doğru kimliklendirilebilmesinde yapay zeka kullanılmaya başlanmıştır. Algoritmaların da devreye sokulması sonucu adli delillerin incelenmesi ve yorumlanması başka bir seviyeye taşınmıştır (Sessa vd., 2024). Sayılan nedenler dolayısıyla yapay zeka adli tıp başta olmak üzere adli antropoloji, adli odontoloji, adli genetik, adli toksikoloji, adli balistik ve adli bilişim gibi pek çok alanda aktif bir şekilde kullanılmaktadır (Galante vd., 2023).

2.1. Adli Antropoloji ve Yapay Zeka Uygulamaları

Adli antropoloji özellikle insana ait iskelet kalıntılarının kimliklendirilmesinde kullanılan, insan kalıntısı ile kayıp kişi arasında irtibat kurmaya çalışan bilim dalıdır. İnsan kalıntısından bireyi tanımlayabilecek cinsiyet, boy, yaş, soy gibi etmenler bu bilim dalı doğrultusunda tespit edilmektedir (Navega vd., 2015). Adli antropoloji sadece insan kalıntıları ile ilgilenmez, bunun yanı sıra yaşayan bireylerin yaşlarının belirlenebilmesi, kemiklerin incelenmesi ile travmatik lezyonların var olup olmadığı gibi konularla da ilgilenmektedir (Galante vd., 2023). Yapılan bir çalışmada hastanelerde çekilmiş bilgisayarlı tomografilerden elde edilen 1000 adet üç boyutlu kafatası görüntüsü incelenmiştir. İnceleme sırasında kafataslarından cinsiyetin belirlenmesini sağlayabilecek özelliklerin belirlenebilmesi amacıyla CNN (Convolutional Neural Network -Evrişimsel Sinir Ağları) kullanılmıştır. İlgili model 50 kadın ve 50 erkek olmak üzere toplam 100 kişinin kafatası görüntüleri üzerinde test edilmiş ve sonuç olarak sadece 5 kişiye ait kafatası görüntüleri cinsiyet bakımından yanlış sınıflandırılmıştır (Bewes vd., 2019). CNN, görsel bilginin analiz edilmesinde kullanılan ve oldukça işe yarayan bir mekanizmadır. Bir diğer çalışmada ise bir Kuzey Çin'deki 133 Han yetişkininin kafatası görüntüleri supraorbital kenar ve ön kemik morfolojik özelliklerine göre dalgacık dönüşümü ve Fourier dönüşümü ile ölçülmüş, bu özellikleri gruplandırılabilmek amacıyla SVM (Support Vector Machine-Destek Vektör Makineleri) yöntemi kullanılmıştır (Yang vd., 2020). Yöntemin uygulanması sonucunda erkek cinsiyeti %90,9 ve kadın cinsiyeti ise %94,4 oranında doğru olarak tespit edilebilmiştir. Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine) genellikle sınıflandırma problemlerinde kullanılan gözetimli öğrenme yöntemlerinden biridir. Bir düzlem üzerine yerleştirilmiş noktaları ayırmak için bir doğru çizer. Bu doğrunun, iki sınıfının noktaları için de maksimum uzaklıkta olmasını amaçlar. Karmaşık ama küçük ve orta ölçekteki veri setleri için uygundur. Soy tespitine yönelik yapılan bir çalışmada Random Forest (Rastgele Orman) algoritması *AncesTrees* (soy tahmini yapan bir bilgisayar programı) isimli program ile karar ağaçları kullanılarak 32'si Afrika kökenli ve 96'sı Avrupa kökenli olmak üzere 128

yetişkin kafatası kullanılarak bireyler soylarına göre %93,8'i doğru şekilde sınıflandırılmıştır (Navega vd., 2015).

2.2. Adli Odontoloji ve Yapay Zeka Uygulamaları

Adli odontoloji (adli diş hekimliği), dişlerin kimlik tespitinde kullanılmasını içeren bir bilim dalıdır. Bu bilim dalının yapay zeka ile birlikte kullanılması sonucu yaş, cinsiyet gibi kişinin kimliklendirilmesinde yardımcı olabilecek veriler tahmin edilebilmektedir. Özellikle ısırık izlerinden kimliklendirme aşaması da bu bilim dalının sayesinde gerçekleşmektedir. Yapılan bir çalışmada Demirjian yöntemi kullanılarak dişlerden yaş tahmini gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Alt üçüncü molar gelişimini aşamalandırmak için *DCNN'ler* kullanılmış ve 400 kişinin panoramik röntgen görüntüleri incelenmiştir. Sonuç olarak kullanılan program sayesinde dişlerin ait olduğu aşamalar %51 oranında doğru şekilde tanımlanabilmiştir (De Tobel vd., 2017). Panoramik Röntgen - OPG (Orthopantomogram): Tüm dişlerin ve çene kemiğinin daha az ışın alarak birlikte görüntülediği bir tomografik röntgen çeşididir. Yapılan bir diğer çalışmada ise kronolojik yaşı panoramik röntgen görüntüsünden tahmin edebilmek amacıyla iki farklı yöntem kullanılmıştır (Vila-Blanco vd., 2020). Bu yöntemler DANet ve DASNet'tir. DANet, yaş tahmin etmek için sıralı bir Evrişimli Sinir Ağı (CNN) yolundan oluşurken, DASNet, cinsiyeti tahmin etmek için ikinci bir CNN yolu ekler ve yaş tahminini iyileştirmek amacıyla cinsiyete özgü özellikleri kullanır. Çalışmada yaşları 4,5 ila 89,2 arasında değişen 2289 OPG görüntüsünden oluşan bir set kullanıldı. Sonuçlar, DASNet'in her açıdan DANet'ten daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

2.3. Adli Patoloji ve Yapay Zeka Uygulamaları

Adli patolojide CNN modelleri kullanılarak ölüm nedeni ve zamanının belirlenebilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada yapay zeka ile diatomların otomatik tanımlanması sağlanmıştır (Zhou vd., 2020). Bunun için suda bulunan 10 kişinin cesedi üzerinden toplanan diatomlar önce nitrik asitle muamele edilmiş ve ardından ilgili yaymalar bir slayt tarayıcı kullanılarak dijital bir biçimde taranmıştır. Ardından yapay zeka kullanılarak otomatik diatom tanımlama sistemi ile hem kalitatif hem kantitatif tanımlama yapılabilmektedir. Böylece günlük hayattaki adli vakalarda diatomların teşhisinde yardımcı bir araç geliştirilmiştir. Yapılan bir diğer çalışmada ise morlukların yaşının yapay zeka aracılığıyla belirlenebilmesi üzerinde durulmuştur (Georgieva vd., 2005). Herhangi bir travma sonucu oluşan ekimozlar birtakım renk değişimleri yaratır; başlangıçta kırmızımı, sonra mor-mavi, üçüncü günde yeşilimsi olur, 4-5 gün sonra ise kahverengiye döner ve daha sonra sararır ve 10-14 gün içinde kaybolur. Adli tıpta morlukların yaşı makroskobik olarak değerlendirilir. Yapay zeka kullanımı ile morluk renklerinin tespiti, insan faktörüne göre çok daha objektif sonuçlar sunmaktadır.

2.4. Adli Balistik ve Yapay Zeka Uygulamaları

Silahlar ateşlendiği andan itibaren gerek kapsül üzerinde bulunan ateşleme iğnesi izi gerek kovanın dışarı atılmasını sağlayan çıkarıcının kovan üzerinde bıraktığı iz gerek mermi çekirdeğinin namlu içerisinde ilerlerken namluda bulunan yiv-set izlerinin çekirdek üzerinde

bıraktığı izler silaha aittir ve karakteristiktir. Bu nedenle kullanılan yazılım ve programlar da izlerin görüntü işleme yoluyla bir veri tabanında karşılaştırılmasını sağlar (Bobbili vd., 2023).

2.5. Adli Toksikoloji ve Yapay Zeka Uygulamaları

Adli toksikolojide yapay zeka, toksik maddeleri, ilaçları ve farklı metabolitleri tanımlamak için milyonlarca veri ile bağlantılar oluşturma amacıyla kullanılmaktadır. Yapay zeka aracılığıyla otomatik toksikolojik analiz, 2020 yılına kadar Chemical Abstract Service (CAS) veri tabanında bulunan 160 milyondan fazla organik ve inorganik maddeye ulaşan nicel ve nitel tanımlamaya izin vermiştir (Gasteiger, 2020).

2.6. Adli Genetik ve Yapay Zeka Uygulamaları

Kişilerin DNA profillerinin adli bir vakada tanımlanabilmesi için kullanılan biyobelirteçler büyük miktarda veri gerektirmektedir (Liu&Harbison, 2018). Bunun yanı sıra adli genetikte kullanılan pek çok veri kompleks bir yaklaşım gerektirir, bu nedenle manuel bir proses zaman almanın yanında hata yapma olasılığını da artırır (Benschop vd., 2019). Dolayısıyla adli genetikte yapay zekanın kullanılması, bu alanda fayda sağlayabilmektedir (Duke&Myers, 2020). Adli genetik laboratuvarlarında kısa ardışık tekrar dizilerinin (STR) yorumlanmasında kullanılan yapay zeka destekli yazılımlardan biri de *STRmix*TM yazılımıdır. Bu yazılım, bir profilin olasılığını hesaplayabilmek için elektroforegramda bulunan pik yükseklikleri gibi verileri kullanır. *STRmix*TM karmaşık DNA sonuçlarını hızlı bir biçimde yorumlar ve daha önce çözülemeyen karışık DNA profillerini de çözebilmektedir. Bunun için de biyolojik modellemeyi ve matematiksel süreçleri kullanır. DNA sonuçları hızlı yorumlanır, farklı identifikasyon kitlerinden gelen DNA profilleri aynı yorumda birleştirilebilir, DNA profilleri şüpheli/referans örneklerle karşılaştırılır ve bir olasılık oranı (LR) hesaplanır, katkıda bulunanların sayısında herhangi bir kısıtlama olmaksızın daha önce çözülemeyen karmaşık miks DNA profilleri çözümlenebilir, DNA profilindeki bilgilerin daha fazlasını kullanılarak her türlü modellemeler yapılabilir, miks DNA profilleri bir veritabanına karşı kıyaslanabilir. Yazılım sayesinde zamandan tasarruf sağlanır ve insan hatası en aza indirilir. *STRmix*TM'in yanı sıra yapay zeka destekli *TrueAllele*TM, *EuroForMix*TM ve *MaSTR*TM yazılımları da kullanılmaktadır. DNA analizi sonucunda elde edilen elektroforegramların yorumlanması manuel olarak yapılması işlemi zaman alıcıdır ve insan hatasına karşı da oldukça savunmasızdır. Bu nedenle elektroforegramlar için bir analitik eşik belirlenir veya iki farklı uzmanın elektroforegramı birbirinden bağımsız bir biçimde okuması işlemi gerçekleştirilir. Bu çift aşamalı işlemler yerine *Genemapper* ve *OSIRIS* gibi elektroforegram okuma yazılımları ile artefaktlar otomatik olarak kaldırılabilir (Taylor&Powers, 2016). Adli genetikte DNA metilasyonuna ilişkin yapay zekanın kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Yapılan bir çalışmada pirosekanslama ile DNA metilasyonuna dayalı üç lokus kullanılarak 333 kan örneği için hem regresyon hem de yapay sinir ağları kullanılarak etnik köken ile cinsiyetin yaş tahmini üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir (Thong vd., 2021). Ardından kullanılan DNA miktarını azaltmak için tek lokus tabanlı bir model geliştirilmiş ve geliştirilen bu modelin regresyon modelinden daha yüksek yaş tahmini doğruluğuna sahip olduğu tespit edilmiştir. Adli

laboratuvarlarda DNA ekstraksiyonu aşamasını otomatik bir biçimde yapan robotlar da bulunmaktadır (Galante vd., 2023). Örneğin Qiagen'e ait olan EZ1 sistemi, manyetik boncuk teknolojisini kullanır ve böylece daha fazla saflaştırma veya konsantrasyon adımı gerektirmeden etkili bir şekilde zaman tasarrufu sağlar. Adli genetikte bazı biyolojik numunelerin tespiti, olayın çözümünde kilit noktadır. Özellikle spermin tespiti, bir cinsel saldırı vakasını kanıtlayabilmektedir (Golomingi vd., 2022). Normal koşullarda sperm taşıyabileceği düşünülen materyal bir cam slayta aktarıldıktan sonra bir optik mikroskop kullanılarak manuel olarak taranır. Ancak bu işlem oldukça zaman alıcıdır, bunun yerine VGG19 ağı tarafından eğitilen evrişimli sinir ağları mikroskop görüntüleri üzerinde spermin yerini tespit ederek tarama süresini azaltabilir.

3. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Delillerin işlenmesinde ve kimliklendirilmesinde kullanılan analiz yöntemleri, ülkelerin bu incelemeler üzerindeki hukuki tutumları farklılık gösterse de yapay zekâ kullanarak delilleri analiz edip profillendirmek konusunda ortak kaygılar mevcuttur. Yapay zekâ yazılımları ile ilgili etik ikilemde kalınmasının başlıca sebeplerinden biri verinin kanuna uygun elde edilip edilmediği ve bu verinin işlenip işlenemeyeceğidir. Kullanılan yapay zeka metotlarının tekrar edilebilir olup olmaması, yeni kullanılmaya başlanması ve kullanılan proseslerin valide olup olmaması yargı sisteminde yapay zeka destekli metotların kullanımının etik açıdan uygun olup olmadığına dair en büyük tartışma konularındandır. Frye standardı gereği yeni metodolojilerin kullanılmadan önce geniş bir çapta kabul görmesi gerekmektedir. Temel haklara saygı ilkesi, ayrımcılık yapmama ilkesi, kalite ve güvenlik ilkesi, şeffaflık, tarafsızlık ve adalet ilkesi ile kullanıcı kontrolü altında olması ilkesi Avrupa Konseyi Adaletin Etkinliği Komisyonunun yargı sistemlerinde yapay zekâ uygulamaları için belirlediği beş etik ilkedir. Kullanılan yapay zeka destekli metotların bu temel ilkeler açısından değerlendirilmeleri gerekmektedir. Yapay zekânın ülkemizde de kullanımı söz konusu olduğundan etik problemler ile karşılaşılması söz konusudur. Özellikle genetik incelemelerin yapıldığı delillerden elde edilen verilerin (şüpheli/suçlu/mağdura ait DNA profillerinin) karşılaştırılabileceği herhangi bir DNA veri tabanı ülkemizde bulunmamaktadır. Dolayısıyla Türk hukuk sistemi açısından yapay zekânın DNA profillerin yorumlanmasında kullanılabilmesi için öncelikle DNA veri bankaları konusunda kanuni düzenlemeye gidilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

Benschop, C. C., Hoogenboom, J., Hovers, P., Slagter, M., Kruse, D., Parag, R., ... & Kneppers, A. L. (2019). DNAXs/DNASTatistX: Development and validation of a software suite for the data management and probabilistic interpretation of DNA profiles. *Forensic Science International: Genetics*, 42, 81-89.

Bewes, J., Low, A., Morphett, A., Pate, F. D., & Henneberg, M. (2019). Artificial intelligence for sex determination of skeletal remains: Application of a deep learning artificial neural network to human skulls. *Journal of forensic and legal medicine*, 62, 40-43.

Bobbili, R., Ramakrishna, B., & Madhu, V. (2023). An artificial intelligence model for ballistic performance of thin plates. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 51(1), 327-338.

Çakıcı, D. (2011). Şema Kuramının Okuduğunu Anlama Sürecindeki Rolü. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (30), 77-86.

Dastres, R., & Soori, M. (2021). Artificial neural network systems. *International Journal of Imaging and Robotics (IJIR)*, 21(2), 13-25.

De Tobel, J., Radesh, P., Vandermeulen, D., & Thevissen, P. W. (2017). An automated technique to stage lower third molar development on panoramic radiographs for age estimation: a pilot study. *The Journal of forensic odonto-stomatology*, 35(2), 42.

Duke, K. R., & Myers, S. P. (2020). Systematic evaluation of STRmix™ performance on degraded DNA profile data. *Forensic Science International: Genetics*, 44, 102174.

Galante, N., Cotroneo, R., Furci, D., Lodetti, G., & Casali, M. B. (2023). Applications of artificial intelligence in forensic sciences: Current potential benefits, limitations and perspectives. *International journal of legal medicine*, 137(2), 445-458.

Gasteiger, J. (2020). Chemistry in times of artificial intelligence. *ChemPhysChem*, 21(20), 2233-2242.

Georgieva, L., Dimitrova, T., & Stoyanov, I. (2005, June). Computer-aided system for the bruise color's recognition. In *International Conference on Computer Systems and Technologies-CompSysTech'2005*. Available from: <http://ecet.ecs.ru.acad.bg/cst05/Docs/cp/SIII/IIIA.23.pdf> (Cited 22 June 2012).

Golomingi, R., Haas, C., Dobay, A., Kottner, S., & Ebert, L. (2022). Sperm hunting on optical microscope slides for forensic analysis with deep convolutional networks—a feasibility study. *Forensic Science International: Genetics*, 56, 102602. Liu, Y. Y., & Harbison, S. (2018). A review of bioinformatic methods for forensic DNA analyses. *Forensic Science International: Genetics*, 33, 117-128.

Navega, D., Coelho, C., Vicente, R., Ferreira, M. T., Wasterlain, S., & Cunha, E. (2015). AnceTrees: ancestry estimation with randomized decision trees. *International journal of legal medicine*, 129, 1145-1153.

Pedro, F., Subosa, M., Rivas, A., & Valverde, P. (2019). Artificial intelligence in education: Challenges and opportunities for sustainable development. 1-48. *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*, 7.

Sessa, F., Esposito, M., Cocimano, G., Sablone, S., Karaboue, M. A. A., Chisari, M., ... & Salerno, M. (2024). Artificial intelligence and forensic genetics: current applications and future perspectives. *Applied Sciences*, 14(5), 2113.

Taylor, D., & Powers, D. (2016). Teaching artificial intelligence to read electropherograms. *Forensic Science International: Genetics*, 25, 10-18.

Thong, Z., Tan, J. Y. Y., Loo, E. S., Phua, Y. W., Chan, X. L. S., & Syn, C. K. C. (2021). Artificial neural network, predictor variables and sensitivity threshold for DNA methylation-based age prediction using blood samples. *Scientific reports*, 11(1), 1744.

URL-1: <https://chat.openai.com> (E.T.: 17.03.2024)

Vila-Blanco, N., Carreira, M. J., Varas-Quintana, P., Balsa-Castro, C., & Tomas, I. (2020). Deep neural networks for chronological age estimation from OPG images. *IEEE transactions on medical imaging*, 39(7), 2374-2384.

Yang, W., Zhou, M., Zhang, P., Geng, G., Liu, X., & Zhang, H. (2020). Skull sex estimation based on wavelet transform and Fourier transform. *BioMed Research International*, 2020(1), 8608209.

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education—where are the educators?. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 1-27.

Zhou, Y. Y., Cao, Y. J., Yang, Y., Wang, Y. L., Deng, K. F., Ma, K. J., ... & Chen, L. Q. (2020). Application of artificial intelligence automatic diatom identification system in practical cases. *Journal of Forensic Medicine*, 36(2), 239.

MAŞ FASULYESİNİN [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] BİTKİSEL ÜRETİMDE VE İNSAN BESLENMESİNDEKİ ÖNEMİ

Arş. Gör. Mehmet BEDİR

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi,
mbedir@sivas.edu.tr - 0000-0001-9487-3037

Arş. Gör. Meliha Feryal SARIKAYA

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi
fsarikaya@sivas.edu.tr - 0000-0001-7277-1128

Doç. Dr. Muhammad Azhar NADEEM

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi
manadeem@sivas.edu.tr - 0000-0002-0637-9619

ÖZET

Kurak alanlarda, şiddetli su kıtlığı ve tuzluluk nedeniyle bitkisel üretimde önemli verim kayıpları görülmekte ve bu durum gıda üretimini olumsuz etkilemektedir. Bir baklagil bitkisi olan maş fasulyesi [*Vigna radiata* (L.) Wilczek], kurak koşullara dayanabilen, atmosferik azotu sabitleyerek toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerini iyileştirebilen bir bitkidir. Diğer taraftan yetiştirilme süresinin kısa olması, bitkiyi üretim sistemleri içerisinde önemli hale getirmektedir. İnsan beslenmesinde çok fonksiyonlu, protein içeriği yüksek, vitamin ve mineral bakımından zengin bir gıda kaynağıdır. Hasat edildikten sonra geriye kalan artıkları yem veya yeşil gübre olarak kullanılmakta dolayısıyla üretici açısından çok amaçlı bir ürün olarak bitkisel üretim sistemlerinde yerini almaktadır. Bu inceleme, maş fasulyesinin bitkisel özelliği, yetiştiriciliği, besin değerleri ve kullanım alanları ile ilgili literatürü inceleyerek bitkinin önemini vurgulamayı amaçlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Baklagiller, *Vigna radiata*, Beslenme, Bitkisel üretim, İnsan sağlığı

GİRİŞ

Maş fasulyesi, baklagiller familyası (*Fabaceae*), *Vigna* Savi. cinsindeki *Ceratotropis* alt cinsine aittir. Asya ve Afrika’da geniş bir dağılım gösteren *Vigna* cinsi, yaklaşık yüz türe sahip yedi alt cins ve 19 bölümden oluşmaktadır. Bunlardan yedi tür dünya çapında yaygın olarak yetiştirilmektedir (She ve ark., 2015). İki tür Afrika kökenli (*Vigna unguiculata* L. ve *Vigna subterranea* L.) ve diğer beş tür Asya kökenlidir (*Vigna radiata* L., *Vigna mungo* L., *Vigna aconitifolia* Jacq., *Vigna angularis* Willd. ve *Vigna umbellata*) (Vavilov, 1926). *Vigna radiata* türünün ise dört alt türü mevcuttur: *Vigna radiata* subsp. *radiata*, *Vigna radiata* subsp. *sublobata* (L.) R. Wilczek, *Vigna radiata* var. *radiata* (L.) R. Wilczek ve *Vigna radiata* var. *setulosa* (Dalzell) Ohwi & H. Ohashi (Gayacharan ve ark., 2020).

Kültüre alınmış maş fasulyesi varyasyonu ve arkeolojik çalışmalara bakılarak maş fasulyesinin yaklaşık olarak 3500 yıl önce kültüre alındığı ve anavatanının Hindistan olduğu düşünülmektedir (Soehendi ve ark., 2021). Yapılan çalışmalarda maş fasulyesinin *Vigna radiata*.var.*sublobata* ve *Vigna radiata*.var.*radiata*’nın bir melezi olduğunu göstermiştir (Obasi ve ark., 2024).

Maş fasulyesi üretimi dünya genelinde yaklaşık olarak 7.3 milyon ha olup bu alandan Hindistan, Myanmar, Çin ve Endonezya başta olmak üzere yaklaşık olarak 5.3 milyon ton verim alınmaktadır (Nair ve Schreinemachers, 2020). Ülkemizde maş fasulyesi, genellikle yerel popülasyonların yöresel ihtiyaçları karşılamak amacıyla Akdeniz ve Güneydoğu bölgelerinde yetiştiriciliği yapılmaktadır (Karaman, 2019).

BİTKİSEL ÖZELLİĞİ

Maş fasulyesi, çoğunlukla tahıllarla ekim nöbeti programlarına dahil edilen bir sıcak mevsim baklagilidir. Maş fasulyesi bitkileri, bitkinin tepesine yakın kümeler halinde bakla taşıyan dalları ile dik bir yapıya sahiptir. Geniş bir adaptasyon yeteneğine sahip ve her türlü toprakta yaygın olarak yetiştirilebilen maş fasulyesi baklaları 8-15 tohum tanesi içermektedir. Tüysüz, doğrusal-silindirik şekilde 12 cm’ye kadar boylanabilen maş fasulyesi baklaları yeşil, sarı ve kahverengi renklerinde olabilmektedir. Taneler yeşil veya kahverengi renkli olup küre şeklindedir. Yaprakları almaşık ve üç yapraklı olup soluk yeşil, çiçekleri ise yeşilimsi sarı ile soluk sarı rengindedir. Ürünün başlıca avantajları; bir baklagil olarak azotlu gübreleme gerektirmemesi, kısa bir büyüme döngüsüne (75-90 gün) sahip olması, az su gereksinimi olması ve tahıllarla birlikte ekim nöbetine kolayca uyum sağlamasıdır (Lim, 2012; Dahiya ve ark., 2015).

BİTKİSEL ÜRETİMİ

Çiçeklenmeden bakla dolumuna kadar yeterli suyun verilmesi iyi bir verim elde etmek için gereklidir. Yetiştirme sezonu sonundaki yüksek nem ve aşırı yağışların, bitkisel hastalıklara ve olgunlaşmanın gecikmesine neden olabilmesinden ötürü hasat kayıplarına sebebiyet verebilmektedir. Maş fasulyesi iyi drenaja sahip, 6.2-7.2 pH değerinde, tınlı, kumlu tınlı bünyeye sahip toprakları tercih etmektedir. Diğer baklagillere benzer şekilde fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve kükürt gereksinimlerine sahiptir ve toprakta bu elementlerin eksikliğinde gübreleme işlemi gerekmektedir. Diğer bir tüketim alanı olan maş fasulyesi

filizlerinin üretiminde hasat ve depolama sistemlerinin çimlenmeyi engellemeyecek yeterlilikte olması ve tohumlara fungusit, insektisit veya bakterisit uygulamalarının yapılmaması gerekmektedir. Ekim işlemi toprak hazırlığı iyi yapılmış, yeterli toprak nemine sahip, derinliği 3-5 cm olacak şekilde ve 15 Mayıs – 6 Haziran tarihleri arasında gerçekleştirilmelidir. Ekim sıklığı kuru tarım yapılan alanlarda 20-30 bitki/m², sulu tarım yapılan alanlarda ise 30-40 bitki/m² olmalıdır. Kullanılacak olan tohumluk miktarı çeşit ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak 10.000 ila 20.000 adet arasında değişkenlik göstermektedir. Maş fasulyesi, diğer fasulye türlerine benzer oranlarda fosfor, potasyum ve bazı mikro besin maddelerine ihtiyaç duyar. Uygun *Rhizobium* bakteri aşılması yapılmış ise azotlu gübreleme ihtiyacı yoktur. Maş fasulyesinin yabancı otlarla rekabetinin soya fasulyesine nazaran daha düşük olması ve kayıtlı herbisit sayısının daha az olması sebebiyle yabancı otlarla mücadelesi daha zordur. Kimyasal ve çiçeklenme başlangıcına kadar mekanik olarak yabancı otlarla mücadelesi yapılmaktadır. Maş fasulyesinde bakla olgunluğunun eş zamanlı olmaması sebebiyle hasat zamanını tayin etmekte zorluklar yaşanmaktadır. Genel olarak olgunlaşan bakla sayısının %50-70 seviyelerine geldiğinde hasat işleminin gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Kullanılan çeşit ve çevre faktörlerine bağlı olarak 33-224 kg/da arasında tane verimi elde edilmekle birlikte ikinci ürün olarak yapılan üretimlerde verim düşmektedir (Oplinger, 1990; Anonim, 2024b; Baydemir, 20213).

BESİN DEĞERLERİ

Baklagillerin, gelişmekte olan ülkelerde iyi ve nispeten ucuz bir protein ve karbonhidrat kaynağı olmasının yanı sıra iyi bir mineral kaynağı olduğu da bildirilmektedir (Meiners ve ark. 1976). Maş fasulyesine ait protein, karbonhidrat, yağ, su, kül ve toplam şeker miktarına ait oranlar Tablo 1.'de verilmiştir. Maş fasulyesi protein, aminoasit ve özellikle de lizin açısından zengin bir kaynaktır ve bu nedenle tahıl bazlı diyetlerin yanı sıra fonksiyonel gıda takviyesi olarak da kullanılmaktadır. Aynı zamanda iyi bir tiamin, niasin, B6 vitamini, pantotenik asit, magnezyum, demir, fosfor ve potasyum, C vitamini, riboflavin, folat, K vitamini, bakır ve manganez kaynağıdır. Doymuş yağ ve sodyum oranı düşük olmakla birlikte kolesterol miktarı oldukça azdır (Van Horn ve Ernst, 2001). Maş fasulyesine ait kalsiyum, magnezyum, fosfor, potasyum, sodyum, demir, bakır, çinko ve manganez elementlerinin miktarı Tablo 2.'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Maş Fasulyesini Bazı Biyokimyasal Kompozisyonu

Bileşik	Miktar (%100)
Protein	23.9
Karbonhidrat	62.6
Yağ	1.15
Su	9.05
Kül	3.32
Toplam Şeker	6.6

Kaynak: Anonim, 2024a.

Tablo 2. Maş Fasulyesinin Element Kompozisyonu

Element	Miktar (mg/100 gr)
Kalsiyum	132
Magnezyum	189
Fosfor	367
Potasyum	1250
Sodyum	15
Demir	6.74
Bakır	0.941
Çinko	2.68
Manganez	1.04

Kaynak: Anonim, 2024a.

KULLANIM ALANLARI

Dünya çapında pek çok sağlık kuruluşu, kronik hastalıkların önlenmesi ve genel insan sağlığının iyileştirilmesi için bitki bazlı gıda alımının artırılmasını önermektedir. Bu duruma bağlı olarak sağlık programlarına çeşitli bitki bazlı fonksiyonel gıdalar dahil edilmiştir (Espin ve ark., 2007). Sağlık açısından faydalar sergileyen bu tür ürünlerden biri, kısa bir büyüme döngüsüne (70-90 gün) sahip bir yaz baklagili olan maş fasulyesidir [*Vigna radiata* (L.)]. Pek çok Asya ülkesinde, ayrıca Güney Avrupa'nın bazı bölgelerinde ve Kanada ile Amerika Birleşik Devletleri'nin nispeten daha sıcak bölgelerinde yaygın olarak yetiştirilen bir bitkidir. Önemli bir bitki bazlı gıda kaynağı olan maş fasulyesi (Del Rosario ve ark., 1981), detoksifikasyon biyoaktiviteleriyle iyi bilinmektedir. Ek olarak, insanın zihinsel işlevinin geliştirilmesinden sıcak çarpmasının hafifletilmesine kadar çok sayıda başka durumun tedavisinde de kullanılmıştır (Tang ve ark., 2014).

Maş fasulyesi, et tüketiminin yetersiz olduğu yerlerde insanlar için paha biçilmez bir sindirilebilir protein kaynağı sağlar. Olgunlaşmamış baklalar taze şekilde pişirilerek tüketilebildiği gibi un, çorba, yulaf lapası, atıştırmalıklar, ekme, erişte ve dondurma haline getirilerek tüketilmektedir (Mogotsi, 2006). Maş fasulyesi (*Vigna radiata*) filizi, unu veya tanesi insan beslenmesinde besleyici bir gıda olarak yaygın bir şekilde tüketilmektedir (Adsule ve ark., 1986). Çin'de, 1050'lerden beri ateş düşürmek ve vücudu detoksifiye etmek amacıyla şifalı bir bitki olarak da kullanılmaktadır (Zhu ve ark., 2012). Son çalışmalar vitexin ve isovitexin gibi maş fasulyesi ekstraktının patojenik ısı ve oksidatif stresleri hafifletebileceğini ortaya koymuştur (Cao ve ark., 2011; Chung ve ark., 2011). Filipinler'de maş fasulyesi, polinöropati hastalığı için koruyucu veya iyileştirici potansiyelleri nedeniyle çiğ veya lapa halinde pişirilerek kullanılır. Sıcak yaz aylarında serinlemek amacıyla her gün bir kase soğuk tatlı maş fasulyesi çorbası içmek bir Çin alışkanlığıdır. Geleneksel Çin tıbbına göre, çorba veya congee olarak yenen küçük yeşil maş fasulyesi (lu dou) toksinleri dışarı atabilir. Maş fasulyesi soğuk tüketildiğinde vücut ısısının düşürülmesine, toksinlerin temizlenmesine, idrara çıkmanın teşvik edilmesine ve deride oluşan küçük kızarıklıkların giderilmesine yardımcı olur. Kaşıntılı

deri döküntülerini hafifletirken, mide ve karaciğeri detoksifiye edip güçlendirerek vücudu desteklemektedir (Kitikar ve Basu, 1985; Shahrajabian ve ark., 2019). Maş fasulyesi Hindistan'da dhal, atıştırmalık, tatlı ve tuzlu olmak üzere farklı gıda ürünlerinin hazırlanmasında kullanılmaktadır. Farklı maş fasulyesi ürünlerinin tüketim sıklığı çok yüksektir (Kumar ve ark., 2014).

SONUÇ

Maş fasulyesi, yüksek oranda protein ve aminoasit içeren diğer protein kaynaklarına nazaran daha hesaplı olmasının yanında, dengeli ve besleyici değerlere sahip, sindirim oranı yüksek, depolamaya elverişli ve baklagillere kıyasla toprak işleme ihtiyacı daha az olan bir baklagildir. Maş fasulyesi kaliteli bir protein kaynağı olmasının yanı sıra detoksifiye etkisine sahip olması, soğuk tüketiminde vücut ısısının düşürülmesi, idrara çıkmaya teşvik etmesi ve deride meydana gelen kızarıklıkların giderilmesi gibi etkilere sahip olması nedeniyle insan sağlığı bakımından çok fonksiyonlu bir besindir. İnsan sağlığına belirgin faydalar sağlayan maş fasulyesinin üretim yapıldığı bölgelerde münavebe sistemlerine dahil edilmesi gerekmektedir. Ayrıca maş fasulyesinin klasik ve biyoteknolojik ıslah yöntemleriyle iyileştirilmesi, gelecek nesillere verimli ve kaliteli protein kaynakları sunulması açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

- Adsule R.N., Kadam S.S., Salunkhe D.K., Luh B.S., 1986. Chemistry and technology of green gram (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 25(1): 73-105, doi: 10.1080/10408398609527446.
- Anonim, 2024a. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/174256/nutrients> (09/07/2024).
- Anonim, 2024b. <https://www.extension.iastate.edu/alternativeag/mungbean> (18/07/2024).
- Baydemir, F.,2013. Farklı Sıra Aralığı Ve Fosfor Dozlarının Mağ Fasulyesi 'nde [*VignaRadiata*(L.) Wilczek]Verim Ve Bazı Verim Unsurları Üzerine Etkisi. Selçuk Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi 65 s.
- Cao D., Li H., Yi J., Zhang J. Che H., Cao J., Yang L., Zhu C., Jiang W., 2011. Antioxidant properties of the mung bean flavonoids on alleviating heat stress. *PLoS ONE*, 6(6), Article ID e21071, doi: 10.1371/journal.pone.0021071.
- Chung I.M., Yeo M.A., Kim S.J., Moon H.I., 2011. Protective effects of organic solvent fractions from the seeds of *Vigna radiata* L. wilczek against antioxidant mechanisms. *Human and Experimental Toxicology*, 30(8): 904-909, doi: 10.1177/09603271110382565.
- Dahiya, P. K., Linnemann, A. R., Van Boekel, M. A. J. S., Khetarpaul, N., Grewal, R. B., & Nout, M. J. R. (2015). Mung bean: Technological and nutritional potential. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(5), 670-688.
- Del Rosario RR, Flores DM. Functional properties of four types of mung bean flour. *J Sci Food Agr* 1981; 32(2): 175–80. doi: 10.1002/jsfa.2740320213.
- Espin JC, Garcia-Conesa MT, Tomas-Barberan FA. Nutraceuticals: facts and fiction. *Phytochemistry* 2007; 68(22–24): 2986–3008. doi: 10.1016/j.phytochem.2007.09.014. PubMed PMID: 17976666.
- Gayacharan, Archak, S., Gupta, K., Gupta, V., Tyagi, V., & Singh, K. (2020). Mungbean genetic resources and utilization. *The mungbean genome*, 9-25.
- K.R. Kirtikar, B.D. Basu, *Indian Medicinal Plants*, 2 ed., Lalit Mohan Basu, Allahabad, India, 1985.

- Karaman R (2019) Maş Fasulyesi (*Vigna radiata* Wilczek) Genotiplerinin/Yerel Populasyonlarının Isparta Koşullarında Fenolojik, Morfolojik, Agronomik ve Bazı Teknolojik Özellikler Yönünden Karakterizasyonu. Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bil. Ens., Tarla Bitkileri, 226 s.
- Kumar Dahiya, P., Nout, M. J. R., A. van Boekel, M., Khetarpaul, N., Bala Grewal, R., & Linnemann, A. (2014). Nutritional characteristics of mung bean foods. *British Food Journal*, 116(6), 1031-1046.
- Lim, T.K. 2012. Edible medicinal and non-medicinal plants Fruits, Vol. 2, Springer, Dordrecht Heidelberg London New York, pp. 966–967
- Meiners, C. R., N. L. Derise, H. C. Lau, M. G. Crews, S. J. Ritchey, E. W. Murphy. 1976. The content of nine mineral elements in raw and cooked mature drylegumes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 24:1126–30.
- Mogotsi, K. K., 2006. *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek. In: Brink, M. & Belay, G. (Editors). PROTA 1: Cereals and pulses/Céréales et légumes secs. [CD-Rom]. PROTA, Wageningen, Netherlands.
- Nair R, Schreinemachers P (2020) Global status and economic importance of mungbean. In *The mungbean genome* (pp. 1-8). Springer, Cham.
- Obasi, C.C., Obasi, S.N., Ngwuta, A.A., Oforo, K., Obidiebube, A.E., Okolie, H., Asante, L., Eleblu, J., Adjei, E.A. (2024). ADVANCING MUNGBEAN CULTIVATION AND NUTRITION: INSIGHTS FROM GENETIC STUDIES AND BREEDING PROGRESS. *Sustainability in Food and Agriculture (SFNA)* 5(1) 12-18.
- Oplinger, E. S., Hardman, L.L., Kaminski, A.R., Combs, S.M., Doll, J.D., 1990. Mungbean.
- Shahrajabian, M.H., Sun, W. i Cheng, Q. 2019. A short review of health benefits and nutritional values of mung bean in sustainable agriculture. *Polish Journal of Agronomy*. 37, 37 (cze. 2019), 31–36. DOI:<https://doi.org/10.26114/pja.iung.381.2019.37.05>.
- She CW, Jiang XH, Ou LJ, Lui J, Long KL, Zhang LH, Duan WT, Zhao W, Hu JC (2015) Molecular cytogenetic characterization and phylogenetic analysis of the seven cultivated *Vigna* species (Fabaceae). *Plant Biol* 17:268–280
- Soehendi, R., T Hapsari, R., Nugrahaeni, N., Haksiwi, P., & J Mejaya, M. (2021). Agronomic Characteristics and Seed Yield of Indonesian Mungbean (*Vigna radiata*) Genetic Resources. *Annual Research & Review in Biology*, 36(10), 9-21.
- Tang D, Dong Y, Ren H, Li L, He C, et al. A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common food mung bean and its sprouts (*Vigna radiata*). *Chem Central J* 2014; 8: 4. doi: 10.1186/1752-153x-8-4. PubMed PMID: WOS:000334627400001.
- Van Horn L, Ernst N. A summary of the science supporting the new National Cholesterol Education Program dietary recommendations: What dietitians should know. *J Am Diet Assoc*. 2001, 1148-1154.
- Vavilov NI (1926) Studies on the origin of cultivated plants. *Bull Appl Botany Genet Plant Breed (Leningrad)* 16:1–248 (In Russian English summary pp 139–248)
- Zhu S., Li W., Li J., Jundoria A., Sama A.E., Wang H., 2012. It is not just folklore; the aqueous extract of mung bean coat is protective against sepsis. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, Hindawi Publishing Corporation, Article ID, 498467, 10 pages, doi: 10.1155/2012/498467.

MAŞ FASULYESİNİN [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] BİTKİSEL ÜRETİMDE VE İNSAN BESLENMESİNDEKİ ÖNEMİ

Arş. Gör. Mehmet BEDİR

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi,
mbedir@sivas.edu.tr - 0000-0001-9487-3037

Arş. Gör. Meliha Feryal SARIKAYA

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi
fsarikaya@sivas.edu.tr - 0000-0001-7277-1128

Doç. Dr. Muhammad Azhar NADEEM

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi
manadeem@sivas.edu.tr - 0000-0002-0637-9619

ÖZET

Kurak alanlarda, şiddetli su kıtlığı ve tuzluluk nedeniyle bitkisel üretimde önemli verim kayıpları görülmekte ve bu durum gıda üretimini olumsuz etkilemektedir. Bir baklagil bitkisi olan maş fasulyesi [*Vigna radiata* (L.) Wilczek], kurak koşullara dayanabilen, atmosferik azotu sabitleyerek toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerini iyileştirebilen bir bitkidir. Diğer taraftan yetiştirilme süresinin kısa olması, bitkiyi üretim sistemleri içerisinde önemli hale getirmektedir. İnsan beslenmesinde çok fonksiyonlu, protein içeriği yüksek, vitamin ve mineral bakımından zengin bir gıda kaynağıdır. Hasat edildikten sonra geriye kalan artıkları yem veya yeşil gübre olarak kullanılmakta dolayısıyla üretici açısından çok amaçlı bir ürün olarak bitkisel üretim sistemlerinde yerini almaktadır. Bu inceleme, maş fasulyesinin bitkisel özelliği, yetiştiriciliği, besin değerleri ve kullanım alanları ile ilgili literatürü inceleyerek bitkinin önemini vurgulamayı amaçlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Baklagiller, *Vigna radiata*, Beslenme, Bitkisel üretim, İnsan sağlığı

GİRİŞ

Maş fasulyesi, baklagiller familyası (*Fabaceae*), *Vigna* Savi. cinsindeki *Ceratotropis* alt cinsine aittir. Asya ve Afrika'da geniş bir dağılım gösteren *Vigna* cinsi, yaklaşık yüz türe sahip yedi alt cins ve 19 bölümden oluşmaktadır. Bunlardan yedi tür dünya çapında yaygın olarak yetiştirilmektedir (She ve ark., 2015). İki tür Afrika kökenli (*Vigna unguiculata* L. ve *Vigna subterranea* L.) ve diğer beş tür Asya kökenlidir (*Vigna radiata* L., *Vigna mungo* L., *Vigna aconitifolia* Jacq., *Vigna angularis* Willd. ve *Vigna umbellata*) (Vavilov, 1926). *Vigna radiata* türünün ise dört alt türü mevcuttur: *Vigna radiata* subsp. *radiata*, *Vigna radiata* subsp. *sublobata* (L.) R. Wilczek, *Vigna radiata* var. *radiata* (L.) R. Wilczek ve *Vigna radiata* var. *setulosa* (Dalzell) Ohwi & H. Ohashi (Gayacharan ve ark., 2020).

Kültüre alınmış maş fasulyesi varyasyonu ve arkeolojik çalışmalara bakılarak maş fasulyesinin yaklaşık olarak 3500 yıl önce kültüre alındığı ve anavatanının Hindistan olduğu düşünülmektedir (Soehendi ve ark., 2021). Yapılan çalışmalarda maş fasulyesinin *Vigna radiata*.var.*sublobata* ve *Vigna radiata*.var.*radiata* 'nın bir melezi olduğunu göstermiştir (Obasi ve ark., 2024).

Maş fasulyesi üretimi dünya genelinde yaklaşık olarak 7.3 milyon ha olup bu alandan Hindistan, Myanmar, Çin ve Endonezya başta olmak üzere yaklaşık olarak 5.3 milyon ton verim alınmaktadır (Nair ve Schreinemachers, 2020). Ülkemizde maş fasulyesi, genellikle yerel popülasyonların yöresel ihtiyaçları karşılamak amacıyla Akdeniz ve Güneydoğu bölgelerinde yetiştiriciliği yapılmaktadır (Karaman, 2019).

BİTKİSEL ÖZELLİĞİ

Maş fasulyesi, çoğunlukla tahıllarla ekim nöbeti programlarına dahil edilen bir sıcak mevsim baklagilidir. Maş fasulyesi bitkileri, bitkinin tepesine yakın kümeler halinde bakla taşıyan dalları ile dik bir yapıya sahiptir. Geniş bir adaptasyon yeteneğine sahip ve her türlü toprakta yaygın olarak yetiştirilebilen maş fasulyesi baklaları 8-15 tohum tanesi içermektedir. Tüysüz, doğrusal-silindirik şekilde 12 cm'ye kadar boylanabilen maş fasulyesi baklaları yeşil, sarı ve kahverengi renklerinde olabilmektedir. Taneler yeşil veya kahverengi renkli olup küre şeklindedir. Yaprakları almaşık ve üç yapraklı olup soluk yeşil, çiçekleri ise yeşilimsi sarı ile soluk sarı rengindedir. Ürünün başlıca avantajları; bir baklagil olarak azotlu gübreleme gerektirmemesi, kısa bir büyüme döngüsüne (75-90 gün) sahip olması, az su gereksinimi olması ve tahıllarla birlikte ekim nöbetine kolayca uyum sağlamasıdır (Lim, 2012; Dahiya ve ark., 2015).

BİTKİSEL ÜRETİMİ

Çiçeklenmeden bakla dolumuna kadar yeterli suyun verilmesi iyi bir verim elde etmek için gereklidir. Yetiştirme sezonu sonundaki yüksek nem ve aşırı yağışların, bitkisel hastalıklara ve olgunlaşmanın gecikmesine neden olabilmesinden ötürü hasat kayıplarına sebebiyet verebilmektedir. Maş fasulyesi iyi drenaja sahip, 6.2-7.2 pH değerinde, tınlı, kumlu tınlı bünyeye sahip toprakları tercih etmektedir. Diğer baklagillere benzer şekilde fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve kükürt gereksinimlerine sahiptir ve toprakta bu elementlerin eksikliğinde gübreleme işlemi gerekmektedir. Diğer bir tüketim alanı olan maş fasulyesi

filizlerinin üretiminde hasat ve depolama sistemlerinin çimlenmeyi engellemeyecek yeterlilikte olması ve tohumlara fungusit, insektisit veya bakterisit uygulamalarının yapılmaması gerekmektedir. Ekim işlemi toprak hazırlığı iyi yapılmış, yeterli toprak nemine sahip, derinliği 3-5 cm olacak şekilde ve 15 Mayıs – 6 Haziran tarihleri arasında gerçekleştirilmelidir. Ekim sıklığı kuru tarım yapılan alanlarda 20-30 bitki/m², sulu tarım yapılan alanlarda ise 30-40 bitki/m² olmalıdır. Kullanılacak olan tohumluk miktarı çeşit ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak 10.000 ila 20.000 adet arasında değişkenlik göstermektedir. Maş fasulyesi, diğer fasulye türlerine benzer oranlarda fosfor, potasyum ve bazı mikro besin maddelerine ihtiyaç duyar. Uygun *Rhizobium* bakteri aşılması yapılmış ise azotlu gübreleme ihtiyacı yoktur. Maş fasulyesinin yabancı otlarla rekabetinin soya fasulyesine nazaran daha düşük olması ve kayıtlı herbisit sayısının daha az olması sebebiyle yabancı otlarla mücadelesi daha zordur. Kimyasal ve çiçeklenme başlangıcına kadar mekanik olarak yabancı otlarla mücadelesi yapılmaktadır. Maş fasulyesinde bakla olgunluğunun eş zamanlı olmaması sebebiyle hasat zamanını tayin etmekte zorluklar yaşanmaktadır. Genel olarak olgunlaşan bakla sayısının %50-70 seviyelerine geldiğinde hasat işleminin gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Kullanılan çeşit ve çevre faktörlerine bağlı olarak 33-224 kg/da arasında tane verimi elde edilmekle birlikte ikinci ürün olarak yapılan üretimlerde verim düşmektedir (Oplinger, 1990; Anonim, 2024b; Baydemir, 20213).

BESİN DEĞERLERİ

Baklagillerin, gelişmekte olan ülkelerde iyi ve nispeten ucuz bir protein ve karbonhidrat kaynağı olmasının yanı sıra iyi bir mineral kaynağı olduğu da bildirilmektedir (Meiners ve ark. 1976). Maş fasulyesine ait protein, karbonhidrat, yağ, su, kül ve toplam şeker miktarına ait oranlar Tablo 1.'de verilmiştir. Maş fasulyesi protein, aminoasit ve özellikle de lizin açısından zengin bir kaynaktır ve bu nedenle tahıl bazlı diyetlerin yanı sıra fonksiyonel gıda takviyesi olarak da kullanılmaktadır. Aynı zamanda iyi bir tiamin, niasin, B6 vitamini, pantotenik asit, magnezyum, demir, fosfor ve potasyum, C vitamini, riboflavin, folat, K vitamini, bakır ve manganez kaynağıdır. Doymuş yağ ve sodyum oranı düşük olmakla birlikte kolesterol miktarı oldukça azdır (Van Horn ve Ernst, 2001). Maş fasulyesine ait kalsiyum, magnezyum, fosfor, potasyum, sodyum, demir, bakır, çinko ve manganez elementlerinin miktarı Tablo 2.'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Maş Fasulyesini Bazı Biyokimyasal Kompozisyonu

Bileşik	Miktar (%100)
Protein	23.9
Karbonhidrat	62.6
Yağ	1.15
Su	9.05
Kül	3.32
Toplam Şeker	6.6

Kaynak: Anonim, 2024a.

Tablo 2. Maş Fasulyesinin Element Kompozisyonu

Element	Miktar (mg/100 gr)
Kalsiyum	132
Magnezyum	189
Fosfor	367
Potasyum	1250
Sodyum	15
Demir	6.74
Bakır	0.941
Çinko	2.68
Manganez	1.04

Kaynak: Anonim, 2024a.

KULLANIM ALANLARI

Dünya çapında pek çok sağlık kuruluşu, kronik hastalıkların önlenmesi ve genel insan sağlığının iyileştirilmesi için bitki bazlı gıda alımının artırılmasını önermektedir. Bu duruma bağlı olarak sağlık programlarına çeşitli bitki bazlı fonksiyonel gıdalar dahil edilmiştir (Espin ve ark., 2007). Sağlık açısından faydalar sergileyen bu tür ürünlerden biri, kısa bir büyüme döngüsüne (70-90 gün) sahip bir yaz baklagili olan maş fasulyesidir [*Vigna radiata* (L.)]. Pek çok Asya ülkesinde, ayrıca Güney Avrupa'nın bazı bölgelerinde ve Kanada ile Amerika Birleşik Devletleri'nin nispeten daha sıcak bölgelerinde yaygın olarak yetiştirilen bir bitkidir. Önemli bir bitki bazlı gıda kaynağı olan maş fasulyesi (Del Rosario ve ark., 1981), detoksifikasyon biyoaktiviteleriyle iyi bilinmektedir. Ek olarak, insanın zihinsel işlevinin geliştirilmesinden sıcak çarpmasının hafifletilmesine kadar çok sayıda başka durumun tedavisinde de kullanılmıştır (Tang ve ark., 2014).

Maş fasulyesi, et tüketiminin yetersiz olduğu yerlerde insanlar için paha biçilmez bir sindirilebilir protein kaynağı sağlar. Olgunlaşmamış baklalar taze şekilde pişirilerek tüketilebildiği gibi un, çorba, yulaf lapası, atıştırmalıklar, ekmeğe, erişte ve dondurma haline getirilerek tüketilmektedir (Mogotsi, 2006). Maş fasulyesi (*Vigna radiata*) filizi, unu veya tanesi insan beslenmesinde besleyici bir gıda olarak yaygın bir şekilde tüketilmektedir (Adsule ve ark., 1986). Çin'de, 1050'lerden beri ateş düşürmek ve vücudu detoksifiye etmek amacıyla şifalı bir bitki olarak da kullanılmaktadır (Zhu ve ark., 2012). Son çalışmalar vitexin ve isovitexin gibi maş fasulyesi ekstraktının patojenik ısı ve oksidatif stresleri hafifletebileceğini ortaya koymuştur (Cao ve ark., 2011; Chung ve ark., 2011). Filipinler'de maş fasulyesi, polinöropati hastalığı için koruyucu veya iyileştirici potansiyelleri nedeniyle çiğ veya lapa halinde pişirilerek kullanılır. Sıcak yaz aylarında serinlemek amacıyla her gün bir kase soğuk tatlı maş fasulyesi çorbası içmek bir Çin alışkanlığıdır. Geleneksel Çin tıbbına göre, çorba veya congee olarak yenen küçük yeşil maş fasulyesi (lu dou) toksinleri dışarı atabilir. Maş fasulyesi soğuk tüketildiğinde vücut ısısının düşürülmesine, toksinlerin temizlenmesine, idrara çıkmanın teşvik edilmesine ve deride oluşan küçük kızarıklıkların giderilmesine yardımcı olur. Kaşıntılı

deri döküntülerini hafifletirken, mide ve karaciğeri detoksifiye edip güçlendirerek vücudu desteklemektedir (Kitikar ve Basu, 1985; Shahrajabian ve ark., 2019). Maş fasulyesi Hindistan'da dhal, atıştırmalık, tatlı ve tuzlu olmak üzere farklı gıda ürünlerinin hazırlanmasında kullanılmaktadır. Farklı maş fasulyesi ürünlerinin tüketim sıklığı çok yüksektir (Kumar ve ark., 2014).

SONUÇ

Maş fasulyesi, yüksek oranda protein ve aminoasit içeren diğer protein kaynaklarına nazaran daha hesaplı olmasının yanında, dengeli ve besleyici değerlere sahip, sindirim oranı yüksek, depolamaya elverişli ve baklagillere kıyasla toprak işleme ihtiyacı daha az olan bir baklagildir. Maş fasulyesi kaliteli bir protein kaynağı olmasının yanı sıra detoksifiye etkisine sahip olması, soğuk tüketiminde vücut ısısının düşürülmesi, idrara çıkmaya teşvik etmesi ve deride meydana gelen kızarıklıkların giderilmesi gibi etkilere sahip olması nedeniyle insan sağlığı bakımından çok fonksiyonlu bir besindir. İnsan sağlığına belirgin faydalar sağlayan maş fasulyesinin üretim yapıldığı bölgelerde münavebe sistemlerine dahil edilmesi gerekmektedir. Ayrıca maş fasulyesinin klasik ve biyoteknolojik ıslah yöntemleriyle iyileştirilmesi, gelecek nesillere verimli ve kaliteli protein kaynakları sunulması açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

- Adsule R.N., Kadam S.S., Salunkhe D.K., Luh B.S., 1986. Chemistry and technology of green gram (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 25(1): 73-105, doi: 10.1080/10408398609527446.
- Anonim, 2024a. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/174256/nutrients> (09/07/2024).
- Anonim, 2024b. <https://www.extension.iastate.edu/alternativeag/mungbean> (18/07/2024).
- Baydemir, F.,2013. Farklı Sıra Aralığı Ve Fosfor Dozlarının Mağ Fasulyesi 'nde [*VignaRadiata*(L.) Wilczek]Verim Ve Bazı Verim Unsurları Üzerine Etkisi. Selçuk Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi 65 s.
- Cao D., Li H., Yi J., Zhang J. Che H., Cao J., Yang L., Zhu C., Jiang W., 2011. Antioxidant properties of the mung bean flavonoids on alleviating heat stress. *PLoS ONE*, 6(6), Article ID e21071, doi: 10.1371/journal.pone.0021071.
- Chung I.M., Yeo M.A., Kim S.J., Moon H.I., 2011. Protective effects of organic solvent fractions from the seeds of *Vigna radiata* L. wilczek against antioxidant mechanisms. *Human and Experimental Toxicology*, 30(8): 904-909, doi: 10.1177/09603271110382565.
- Dahiya, P. K., Linnemann, A. R., Van Boekel, M. A. J. S., Khetarpaul, N., Grewal, R. B., & Nout, M. J. R. (2015). Mung bean: Technological and nutritional potential. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(5), 670-688.
- Del Rosario RR, Flores DM. Functional properties of four types of mung bean flour. *J Sci Food Agr* 1981; 32(2): 175–80. doi: 10.1002/jsfa.2740320213.
- Espin JC, Garcia-Conesa MT, Tomas-Barberan FA. Nutraceuticals: facts and fiction. *Phytochemistry* 2007; 68(22–24): 2986–3008. doi: 10.1016/j.phytochem.2007.09.014. PubMed PMID: 17976666.
- Gayacharan, Archak, S., Gupta, K., Gupta, V., Tyagi, V., & Singh, K. (2020). Mungbean genetic resources and utilization. *The mungbean genome*, 9-25.
- K.R. Kirtikar, B.D. Basu, *Indian Medicinal Plants*, 2 ed., Lalit Mohan Basu, Allahabad, India, 1985.

- Karaman R (2019) Maş Fasulyesi (*Vigna radiata* Wilczek) Genotiplerinin/Yerel Populasyonlarının Isparta Koşullarında Fenolojik, Morfolojik, Agronomik ve Bazı Teknolojik Özellikler Yönünden Karakterizasyonu. Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bil. Ens., Tarla Bitkileri, 226 s.
- Kumar Dahiya, P., Nout, M. J. R., A. van Boekel, M., Khetarpaul, N., Bala Grewal, R., & Linnemann, A. (2014). Nutritional characteristics of mung bean foods. *British Food Journal*, 116(6), 1031-1046.
- Lim, T.K. 2012. Edible medicinal and non-medicinal plants Fruits, Vol. 2, Springer, Dordrecht Heidelberg London New York, pp. 966–967
- Meiners, C. R., N. L. Derise, H. C. Lau, M. G. Crews, S. J. Ritchey, E. W. Murphy. 1976. The content of nine mineral elements in raw and cooked mature drylegumes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 24:1126–30.
- Mogotsi, K. K., 2006. *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek. In: Brink, M. & Belay, G. (Editors). PROTA 1: Cereals and pulses/Céréales et légumes secs. [CD-Rom]. PROTA, Wageningen, Netherlands.
- Nair R, Schreinemachers P (2020) Global status and economic importance of mungbean. In *The mungbean genome* (pp. 1-8). Springer, Cham.
- Obasi, C.C., Obasi, S.N., Ngwuta, A.A., Oforo, K., Obidiebube, A.E., Okolie, H., Asante, L., Eleblu, J., Adjei, E.A. (2024). ADVANCING MUNGBEAN CULTIVATION AND NUTRITION: INSIGHTS FROM GENETIC STUDIES AND BREEDING PROGRESS. *Sustainability in Food and Agriculture (SFNA)* 5(1) 12-18.
- Oplinger, E. S., Hardman, L.L., Kaminski, A.R., Combs, S.M., Doll, J.D., 1990. Mungbean.
- Shahrajabian, M.H., Sun, W. i Cheng, Q. 2019. A short review of health benefits and nutritional values of mung bean in sustainable agriculture. *Polish Journal of Agronomy*. 37, 37 (cze. 2019), 31–36. DOI:<https://doi.org/10.26114/pja.iung.381.2019.37.05>.
- She CW, Jiang XH, Ou LJ, Lui J, Long KL, Zhang LH, Duan WT, Zhao W, Hu JC (2015) Molecular cytogenetic characterization and phylogenetic analysis of the seven cultivated *Vigna* species (Fabaceae). *Plant Biol* 17:268–280
- Soehendi, R., T Hapsari, R., Nugrahaeni, N., Haksiwi, P., & J Mejaya, M. (2021). Agronomic Characteristics and Seed Yield of Indonesian Mungbean (*Vigna radiata*) Genetic Resources. *Annual Research & Review in Biology*, 36(10), 9-21.
- Tang D, Dong Y, Ren H, Li L, He C, et al. A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common food mung bean and its sprouts (*Vigna radiata*). *Chem Central J* 2014; 8: 4. doi: 10.1186/1752-153x-8-4. PubMed PMID: WOS:000334627400001.
- Van Horn L, Ernst N. A summary of the science supporting the new National Cholesterol Education Program dietary recommendations: What dietitians should know. *J Am Diet Assoc*. 2001, 1148-1154.
- Vavilov NI (1926) Studies on the origin of cultivated plants. *Bull Appl Botany Genet Plant Breed (Leningrad)* 16:1–248 (In Russian English summary pp 139–248)
- Zhu S., Li W., Li J., Jundoria A., Sama A.E., Wang H., 2012. It is not just folklore; the aqueous extract of mung bean coat is protective against sepsis. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, Hindawi Publishing Corporation, Article ID, 498467, 10 pages, doi: 10.1155/2012/498467.

BİNGÖL OVASI KOŞULLARINDA KIŞLIK BUĞDAYIN SULAMA PLANLAMASI

Sebahattin KAYA

Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 12000, Bingöl,
e-mail: skaya@bingol.edu.tr
ORCID ID: 0000-0003-3007-4177

Özet: İklim değişikliği nedeniyle oluşan yağış düzensizliği ve su kaynaklarındaki azalma bitkisel üretimi azaltmak suretiyle tarımsal üretimi olumsuz olarak etkilemektedir. Bu durum suyun etkin kullanımını gerektirmektedir. Suyun etkin kullanımı, sulama uygulamalarında su kayıplarının azaltılması ve suyun tasarruflu olarak kullanılması ile sağlanabilecektir. Tarımda su tasarrufu sağlamak öncelikle bitki su tüketimi ve sulama programlarının sağlıklı olarak belirlenmesine bağlıdır. Bu araştırma, Bingöl Ovası koşullarında kışlık olarak yetiştirilen buğdayın bitki su tüketimleri ve sulama programları ve sulama suyu ihtiyacının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Buğdayın sulama suyu ihtiyacı; Cropwat (8.0) bilgisayar programı yardımıyla, yörenin iklim, bitki ve toprak verileri kullanılarak; kurak, normal ve yağışlı yıllar için belirlenmiştir. Buğdayın mevsimlik su tüketimi 509 mm ve mevsimlik sulama suyu ihtiyaçları; kurak, normal ve yağışlı yıllar için sırasıyla 320, 210 ve 106 mm olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bingöl Ovası, Kışlık buğday, Bitki su tüketimi, Sulama planlaması

Irrigation Planning of Winter Wheat in Bingöl Plain Conditions

Abstract: Irregular rainfall and decrease in water resources due to climate change negatively affect agricultural production by reducing plant production. This situation requires efficient use of water. Efficient use of water can be achieved by reducing water losses in irrigation practices and using water economically. Saving water in agriculture primarily depends on healthy determination of plant water consumption and irrigation programs. This research was conducted to determine plant water consumption, irrigation programs and irrigation water requirements of wheat grown as winter crops in Bingöl Plain conditions. Irrigation water requirement of wheat was determined for dry, normal and rainy years by using climate, plant and soil data of the region with the help of Cropwat (8.0) computer program. Seasonal water consumption of wheat was determined as 509 mm and seasonal irrigation water requirements were determined as 320, 210 and 106 mm for dry, normal and rainy years, respectively.

Key words: Bingöl Plain, Winter Wheat, Crop Evapotranspiration, Irrigation Scheduling

GİRİŞ

Küresel ısınma sonucu ortaya çıkan iklim değişikliği nedeniyle sürdürülebilir su kaynaklarında azalma meydana geleceği için su kaynaklarının etkin bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Suyun etkin kullanımı, sulama uygulamalarında kaynaktan bitkiye ulaşıncaya kadar olan su kayıplarının azaltılması ve su savurganlığının önüne geçilmesi olarak gerçekleştirilmektedir (Najifar, 2018). Tarımda suyun etkin kullanımının başarılması öncelikle bitki su tüketimi ve sulama programlarının sağlıklı olarak belirlenmesine; iklim, toprak ve bitki koşullarına uygun

sulama yönteminin seçilmesine, seçilen yönteme ilişkin sistemin iyi planlanmasına bağlıdır (Yazgan ve ark., 2004; Feng et al., 2016).

Sulama zamanının ve uygulanacak su miktarının belirlenmesi “sulama planlaması” olarak tanımlanmaktadır ve su kullanımının optimizasyonunu sağlayan bir kavramdır. Sulama planlaması için bitki, toprak ve atmosfer koşullarını dikkate alan bir çok yöntem uygulanmaktadır. Bunlar; bitki belirteçleri, toprak belirteçleri ve su bütçesi tekniğinden oluşmaktadır (Baştuğ, 1994; Kaya ve Özdengiz, 2013; Kanber, 1999). Su bütçesi yönteminde belirli bir zaman aralığında topraktan uzaklaşan ve toprağa giren su miktarları dikkate alınarak bitkinin ihtiyaç duyduğu suyun toprakta var olması sağlanır.

Sulama planlaması için topraktaki su dengesi eşitliğini dikkate alan bir çok (AZCHED, CROPWAT, IRRIWAT, vd.) bilgisayar sulama planlaması programı geliştirilmiştir. Bu programlarda öncelikle bitki su tüketimi belirlenir. Daha sonra kullanıcı tarafından gerekli toprak ve su yönetim bilgileri (toprağın yararlı su tutma kapasitesi, başlangıç toprak su içeriği, su uygulama randımanı ve izin verilebilir toprak suyu tüketim miktarı, vb.) girilerek sulama planlaması belirlenir.

Yukarıda belirtilmiş olan sulama planlaması programlarında, bitki gelişmesi veya bitki su tüketimi üzerinde herhangi bir sınırlamanın olmadığı standart koşullar altında, bitki su tüketimini (ETc) tahmin etmek için genel yöntem olarak ilk önce referans bitki su tüketimi (ETo) tahmin edilir. Daha sonra ETc, ETo'nun amprik bitki katsayısı (Kc) ile çarpılmasıyla elde edilir ($ETc = KcETo$) (Doorenbos and Pruitt, 1977; Allen et al., 1996; Pereira et al. 2021). 'Kc ETo' yaklaşımı olarak adlandırılan bu yöntemde ETc tahmininin doğruluğu, uygun Kc'nin türetilmesine ve ayrıca ETo'nun doğru hesaplanmasına bağlıdır (Allen et al., 1998).

ETo'yu belirlemek için sıcaklık, nem, radyasyon, rüzgar hızı, güneşlenme şiddeti gibi çok sayıda meteorolojik veri gerekmektedir (Allen et al., 1998, Falamarzi et al., 2014). Dolayısıyla, sıcaklık, yağış, rüzgâr hızı ve oransal nem evapotranspirasyona doğrudan etki eden iklim parametreleridir (Uçak ve ark., 2013). ETo'ya etki eden faktörler sadece iklim faktörleri olduğu için sonuç olarak ETo bir iklim parametresidir (Allen et al., 1998), dolayısıyla iklim değişikliği ETo'yu da etkilemektedir.

Yapılan bilimsel çalışmalarda (Yavuz, 2023; Kaya, 2023), küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği; sıcaklık ve evapotranspirasyondaki artış, bağıl nemde azalma ve son yıllardaki yağış miktarlarındaki azalma ile Bingöl Ovası'nda da kendisini göstermektedir. İklim değişikliğinin bu etkisi su kaynaklarının etkin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Diğer taraftan yörede önemli oranda yetiştirilen buğdayın sulama planlaması konusunda Bingöl Ovası koşullarında hiçbir çalışma yapılmamıştır. Dolayısıyla yörede önemli oranda yetiştirilen buğdayın sulama planlamasının kurak, normal ve yağışlı yıllar için belirlenmesi su kaynaklarının etkin kullanımı açısından önemli olduğu için Bingöl Ovası koşullarında kışlık olarak yetiştirilen buğdayın sulama planlamasının belirlenmesi amacıyla bu araştırma yapılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEMLER

Materyal

Araştırma alanı olarak ele alınan Bingöl Ovası, Bingöl İli Merkez İlçe sınırları içerisinde yer almaktadır. Bingöl İli, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat bölümünde $38^{\circ} 27'$ ve $39^{\circ} 27'$ kuzey enlemleri $39^{\circ} 54'$ ve $41^{\circ} 20'$ doğu boylamları arasında bulunmaktadır. İlin yüzölçümü toplam 8253 km^2 olup, merkez ilçe alanı 1790 km^2 'dir (Yavuz, 2023). Bingöl İli, doğuda Muş, kuzeyde Erzincan ve Erzurum, batıda Tunceli ve Elazığ, güneyde ise Diyarbakır ili ile komşudur.

Yukarı Fırat-Murat iklim tipinde yeralan Bingöl İli'nde karasal yağış rejimi görülmesine rağmen yöredeki iklim koşulları bir bütün olarak ele alındığında Akdeniz rejimi ve karasal rejim arasında kendine özgü bir özellik taşıdığı görülmektedir (Soylu, 2013; Anonim, 2016). Bingöl Merkez ilçede konuşlu Bingöl Meteoroloji İstasyonu'nda 1961 – 2023 yılları arası gözlenmiş olan bazı meteorolojik veriler Çizelge 1'de verilmiştir (MGM, 2024).

Çizelge 1. 1961-2023 döneminde Bingöl Meteoroloji İstasyonu'nda gözlenmiş olan bazı iklim değerleri (MGM, 2024)

Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	-2,2	-1,1	4,2	10,8	16,2	22,0	26,7	26,5	21,3	14,3	6,8	0,8	12.2
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	2,4	3,9	9,6	16,8	22,9	29,4	34,6	34,8	29,8	21,7	12,7	5,3	18.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-5,8	-4,9	-0,1	5,8	10,2	14,8	19,0	18,7	13,7	8,3	2,3	-2,7	6.6
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3,4	4,5	4,8	5,5	7,1	9,0	9,4	9,0	8,1	6,1	4,5	3,2	6.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12,84	12,38	14,08	14,86	13,65	5,48	1,76	1,37	2,46	8,27	9,27	12,6	109.5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	138,6	128,8	133,3	116,5	77,6	20,6	7,1	4,3	12,5	65,0	108,3	135,0	947.6

Bingöl Ovası'nda hububat, yem bitkileri (yonca, fiğ), tütün ve bazı sebze türleri (domates, fasulye, kavun, karpuz v.s) yetiştirilmektedir. Buğday tarımı Bingöl İlinde önemli bir konuma sahiptir ve 2024 yılı verilerine göre, Bingöl İli genelinde 87400 da alanda buğday tarımı yapılmış olup, 23396 ton verim alınmıştır (Anonim, 2024).

Bingöl ovasında yapılan toprak etüdü çalışmalarında ova topraklarının genel olarak alüvyal, killi tın bünyeli, tuzsuz, az kireçli ve orta düzeyde organik madde içeriğine sahip topraklar olduğu belirlenmiştir (Demir ve Canbolat, 2018; Demir ve Canbolat, 2021).

Yöntem

Buğdayın sulama planlaması CROPWAT 8.0 sulama planlaması programı kullanılarak yapılmıştır. FAO Su Kaynakları Gelişimi ve Yönetimi Servisi tarafından geliştirilmiş olan CROPWAT Sulama Planlaması Programı ilk olarak 1992'de (CROPWAT 5.7) olmak üzere farklı versiyonlarda yayımlanmıştır (Kaya ve ark., 2012; FAO, 2024). CROPWAT 8.0, toprağın su tutma kapasitesini, iklim verilerini ve bitki bilgisi ve yönetimini hesaba katan bir su dengesi planlaması programıdır.

CROPWAT 8.0 ile referans bitki su tüketimini (ET_o) hesaplamak için günlük, 10 günlük veya aylık iklim verileri kullanılır. İhtiyaç duyulan veriler; maksimum ve minimum sıcaklık (veya ortalama sıcaklık), ortalama bağıl nem, rüzgâr hızı ve günlük toplam güneşlenme süresi verileridir. Gerekli olan toprak ve su yönetim bilgileri ise; toprağın yararlı su tutma kapasitesi, başlangıç toprak su içeriği, su uygulama randımanı ve izin verilebilir toprak suyu tüketim miktarı ve yağış miktarıdır.

CROPWAT 8.0 sulama planlaması programı ile ET_o'yu hesaplamak için FAO Penman-Monteith (FAO - PM) eşitliği kullanılmaktadır. FAO PM eşitliği, değerlendirildiği lokasyonda ET_o'yu yaklaşık olarak tahmin ettiği, fiziksel temelli olduğu ve hem fizyolojik hem de aerodinamik parametreleri açıkça birleştirdiği için, ET_o'nun belirlenmesinde tek yöntem olarak önerilmektedir (Smith et al., 1991; Allen et al., 1994a,b; Smith et al., 1996; Allen et al., 1996). FAO - PM eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma\left(\frac{900}{T + 273}\right)U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

Burada; ET_o, referans bitki su tüketimi (mm gün⁻¹); T, yerden 2 m yükseklikteki ortalama hava sıcaklığı (°C); R_n, bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ m⁻² gün⁻¹), G, toprak ısı akısı yoğunluğu (MJ m⁻² gün⁻¹); U₂ yerden 2 m yükseklikteki rüzgar hızı (m s⁻¹); e_s ve e_a, sırasıyla doymuş ve gerçek buhar basıncı (kPa); Δ, evaporasyon buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa °C⁻¹) ve γ, psikrometrik sabittir (kPa °C⁻¹) (Kaya ve ark., 2013).

Sulama zamanı planlamasında toprak nem dengesi eşitliği kullanılmıştır. Toprak nem dengesi eşitliği aşağıda verilmiştir (Smith, 1992; Kaya ve Özdengiz, 2013).

$$SMD_i = SMD_{i-1} - ET_a + R_f + d_n + R + D \quad (2)$$

Eşitlikte;

SMD : (i) ve (i-1)nci günlerdeki toprak nemi (mm),

ETa : Gerçek bitki su tüketimi (mm),
R_f : Etkili yağış (mm),
d_n : Net sulama suyu miktarıdır (mm),
R: Yüze yağış miktarı (mm) ve
D: Derine sızma miktarı (mm)

Bu araştırmada aylık ortalama ETo değerlerinin belirlenmesi için Bingöl Meteoroloji İstasyonunda gözlenmiş olan maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve güneşlenme süresi değerlerinin 1991-2020 yılları arasındaki döneme ait aylık ortalamaları kullanılmıştır. Sulama planlamalarının oluşturulmasında Bingöl Meteoroloji İstasyonunda 1961-2021 yılları arasındaki dönemde gözlenmiş olan aylık toplam yağış değerleri kullanılarak %20 olasılıkla (nemli yıl için), %50 olasılıkla (normal yıl için) ve %80 olasılıkla (kurak yıl için) oluşacak aylık toplam yağış değerleri belirlenmiştir (Smith, 1992). Kışlık olarak ekimi yapılan buğdayın; CROPWAT programı için gerekli olan gelişim devreleri uzunluğu Allen et al. (1998) ve yöredeki gözlemlere göre belirlenmiştir. Gelişme dönemlerine ait Kc değerleri, yörenin bağıl nem ve rüzgar hızı değerleri dikkate alınarak, Allen et al. (1998) tarafından verilen değerlere ve yöntemlere göre belirlenmiştir. Başlangıç ve olgunluk dönemlerine ait kök derinlikleri, Güngör ve Yıldırım (1989) ve Allen et al. (1998) tarafından verilen değerler ve minimum ıslatma derinliği olarak Özdengiz (1992) tarafından belirtilen 30-40 cm'lik derinlik önerisi dikkate alınarak belirlenmiştir. Sulama planlamasında toprakların faydalı su tutma kapasitesi olarak Bingöl Ovasında Demir (2016) tarafından yapılan çalışmada belirlenmiş olan 160 mm m⁻¹ değeri dikkate alınmıştır.

Buğdayın gelişme devresi uzunlukları, Kc değerleri, kök derinliği, topraktaki faydalı suyun kullanılma yüzdesi ve ekim zamanındaki mevcut toprak nemi değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Bitki büyüme devresi uzunlukları, kök derinlikleri ve faydalı suyun kullanılma yüzdeleri.

CROPWAT Sulama Programında Kullanılan Bitki ve Toprak Suyu Yönetim Bilgileri		Bitki Gelişme Devreleri			
		Başlangıç	Gelişme	Orta	Son
Büyüme Devresi Uzunluğu (Gün)		40	160	40	30
Kc Değerleri		0.65	-	1.07	0.23
Kök Derinliği (cm)		60	-	90	90
İzin Verilebilir Yararlı Su Tüketim Oranı	Kurak Yıl	0.50	-	0.50	0.80
	Normal Yıl	0.50	-	0.50	0.50
	Yağışlı Yıl	0.50	-	0.50	0.65
Başlangıçtaki (ekim zamanındaki) Mevcut Toprak Nemi	Kurak Yıl	80 mm/m (%50 TAM)			
	Normal Yıl	88 mm/m (%55 TAM)			
	Yağışlı Yıl	88 mm/m (%55 TAM)			

Programda belirlenen aşamalar izlenirken etkili yağış USDA-SCS yöntemiyle hesaplanmıştır. Sulama zamanı planlamasında optimum sulama koşulu seçilmiş ve her sulamada eksik toprak

nem düzeyi tarla kapasitesine yükseltileceği öngörülmüştür (Smith, 1992). Sulamaya başlamak için dikkate alınan, faydalı suyun düşmesine izin verilen kısmı için Allen et al. (1998) tarafından verilmiş olan % 50 değeri kullanılmıştır. Ayrıca, sulamaların iyi yönetilmiş yüzey sulama yöntemleri ile yapılacağı düşünülerek, hesaplamalarda su uygulama randımanı olarak Smith (1992) tarafından önerilmiş olan % 70 değeri kullanılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Buğdayın kurak, normal ve yağışlı yıllara göre sulama zamanı planlaması (sulama programları) sonuçları Çizelge 3-5`de verilmiştir. Sulama zamanı planlaması tablolarında, bitkilerin ekim ve hasat tarihleri, sulama zamanı ve aralıkları, her sulamada uygulanacak olan brüt ve net sulama suyu miktarları ile sulama modülleri verilmiştir. Ayrıca, bazı mevsimlik değerler ile sulama programı ve yağış etkinliği yüzdeleri de sunulmuştur.

Çizelge 3. Yazlık buğdayın kurak yıl için sulama programı.

Bitki Cinsi	: Kışlık Buğday	Kullanılabilir su tutma kapasitesi	: 160 mm		
Ekim Tarihi	: 15.10	m ⁻¹ Tarla su uygulama randımanı	: % 70		
Toprak Bünyesi	: Kil				
Sulama Seçeneği	: Toprakta tüketilmesine izin verilen suyun tamamı tüketildiğinde tarla kapasitesine kadar sulama uygulaması (Optimum sulama koşulu)				
Sulama No	Sulama Aralığı (Gün)	Sulama Tarihi	Uygulanan Net Sulama Suyu Miktarı (mm)	Uygulanan Brüt Sulama Suyu Miktarı (mm)	Sürekli Akış (l s ⁻¹ ha ⁻¹)
1	1	15 Ekim	73.6	105.1	12.1
2	218	20 Mayıs	73.6	105.1	0.06
3	237	8 Haziran	76.9	109.9	0.67
Hasat	270	11 Temmuz			
Toplam brüt sulama suyu miktarı	: 320.1 mm		Toplam yağış	: 468.3 mm	
Toplam net sulama suyu miktarı	: 224.1 mm		Etkili yağış	: 244.2 mm	
Toplam sulama suyu kaybı	: 0.0 mm		Top yağış kaybı	: 224.1 mm	
Hasatta toprakta kalan su miktarı	: 53.2 mm		Gerçek sulama suyu ihtiyacı	: 264.6 mm	
Bitki tarafından kullanılan gerçek su tüketimi	: 503.1 mm		Yağış etkinliği	: % 52.2	
Sulama programının etkinliği	: % 100				
Sulama programının eksikliği	: % 1.1				

Çizelge 4. Kışlık buğdayın normal yıl için sulama programı.

Bitki Cinsi	: Kışlık Buğday	Kullanılabilir su tutma kapasitesi	: 160 mm		
Ekim Tarihi	: 15.10	m^{-1} Tarla su uygulama randımanı	: % 70		
Toprak Bünyesi	: Kil				
Sulama Seçeneği	: Toprakta tüketilmesine izin verilen suyun tamamı tüketildiğinde tarla kapasitesine kadar sulama uygulaması (Optimum sulama koşulu)				
Sulama No	Sulama Aralığı (Gün)	Sulama Tarihi	Uygulanan Net Sulama Suyu Miktarı (mm)	Uygulanan Brüt Sulama Suyu Miktarı (mm)	Sürekli Akış ($l s^{-1} ha^{-1}$)
1	228	30 Mayıs	72.4	103.4	0.05
2	246	17 Haziran	74.4	106.3	0.68
Hasat	270	11 Temmuz			
Toplam brüt sulama suyu miktarı	: 209.7 mm		Toplam yağış miktarı	: 860.1 mm	
Toplam net sulama suyu miktarı	: 146.8 mm		Etkili yağış miktarı	: 357.7 mm	
Toplam sulama suyu kaybı	: 0.0 mm		Top yağış kaybı	: 502.5 mm	
Hasatta toprakta kalan su miktarı	: 100.8 mm		Gerçek sulama ihtiyacı	: 151.2 mm	
Bitki tarafından kullanılan gerçek su tüketimi	: 508.9 mm		Yağış etkinliği	: % 41.6	
Sulama programının etkinliği	: % 100				
Sulama programının eksikliği	: % 0.0				

Çizelge 5. Kışlık buğdayın nemli yıl için sulama programı.

Bitki Cinsi	: Kışlık Buğday	Kullanılabilir su tutma kapasitesi	: 160 mm		
Ekim Tarihi	: 15.10	m^{-1} Tarla su uygulama randımanı	: % 70		
Toprak Bünyesi	: Kil				
Sulama Seçeneği	: Toprakta tüketilmesine izin verilen suyun tamamı tüketildiğinde tarla kapasitesine kadar sulama uygulaması (Optimum sulama koşulu)				
Sulama No	Sulama Aralığı (Gün)	Sulama Tarihi	Uygulanan Net Sulama Suyu Miktarı (mm)	Uygulanan Brüt Sulama Suyu Miktarı (mm)	Sürekli Akış ($l s^{-1} ha^{-1}$)

1	241	12 Haziran	74.3	106.1	0.05
Hasat	270	11 Temmuz			
Toplam brüt sulama suyu miktarı			106.1 mm	Toplam yağış miktarı	1230.0 mm
Toplam net sulama suyu miktarı			74.3 mm	Etkili yağış miktarı	413.5 mm
Toplam sulama suyu kaybı			0.0 mm	Top yağış kaybı	816.9 mm
Hasatta toprakta kalan su miktarı			74.1 mm	Gerçek sulama suyu ihtiyacı	95.4 mm
Bitki tarafından kullanılan gerçek su tüketimi			508.9 mm	Yağış etkinliği	% 33.6
Sulama programının etkinliği			% 100		
Sulama programının eksikliği			% 0.0		

Mevsimlik su tüketiminin yağışlı, normal ve kurak yıl için sırasıyla 106.1, 209.7 ve 320.1 mm olduğu ve yağışlı, normal ve kurak yıl için sırasıyla 1, 2 ve 3 kez sulama yapılacağı Çizelge 3-5'den anlaşılmaktadır.

Bulunan sonuçları destekleme açısından, ülkemizde benzer koşullarda geçmiş yıllarda araştırmacılar ve çeşitli kuruluşlarca yapılmış olan sulama ve su tüketimi araştırma sonuçları aşağıda belirtilmiştir.

Sevim (1988) tarafından Erzurum-Pasinler koşullarında buğdayın su tüketimi konusunda yapılmış olan araştırmada ekimden sonra, sapa kalkma ve çiçeklenme döneminin başlangıcında olmak üzere döneminde olmak üzere üç kez sulama yapmak üzere en yüksek verim elde edilmiştir ve buğdayın su tüketimi 398 mm olarak belirlenmiştir. Kaya (1997) tarafından yapılan araştırmada Erzurum Ovası koşullarında kışlık buğdayın su tüketimi 369 mm olarak belirlenmiş ve nemli, normal ve kurak yıllar için sırasıyla 1, 2 ve 3 kez sulanması gerektiği belirtilmiştir.

Iğdır Ovası koşullarında buğdayın su tüketimi 455 mm ve ekimden sonra, sapa kalkma ve başaklanma dönemlerinde olmak üzere 3 kez sulama suyu uygulanması gerektiği belirlenmiştir. Koç ve Kanber (2020) Kahramanmaraş koşullarında buğdayın su tüketiminin 708 mm olarak belirtmişlerdir. Ankara koşullarında buğdayın su tüketimi 690 mm, Konya Ovası koşullarında 511.7 mm, Tokat-Kazova koşullarında 616.3 mm, Harran Ovası'nda 727.9 mm, Eskişehir koşullarında ise 548.4 mm olarak belirlenmiştir ve Kırklareli koşullarında 557.4 mm olarak belirlenmiştir (Çap, 2017).

Yukarıda verilmiş olan kışlık buğdayın su tüketimi ve sulanması konusunda ülkemizin çeşitli yörelerinde yapılmış olan araştırmalardan elde edilen değerler ile bu araştırmadan elde edilen sonuçların benzeştiği anlaşılmaktadır. Başkan (1993), referans bitki su tüketiminin

hesaplanması için kullanılan yöntemlerin, uygun bitki katsayıları ile kullanıldığında, bitki su tüketimlerinin yeterli güvenlik sınırları içerisinde tahmin edilebildiğini ve burada önemli olanın deneysel olarak bulunan bitki katsayılarının uygun referans bitki su tüketimi ile kullanılması olduğunu belirtmiştir.

SONUÇ

Bitkilerin su tüketimlerinin ve sulama programlarının doğrudan belirlenmesi, masraf gerektirmesi ve zaman alıcı olması nedeniyle oldukça zordur ve çoğunlukla model ve dolaylı yöntemleri doğrulama amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle, bitki su tüketimlerinin ve sulama programlarının belirlenmesinde genellikle dolaylı ve pratik yöntemler kullanılır. Genellikle dolaylı yöntem olarak, iklim değerlerini kullanarak referans bitki su tüketimine göre bitki su tüketimini belirleyen matematiksel ve model yaklaşımlar kullanılmaktadır. Sulama planlamasında da bu model yaklaşımlara dayalı bilgisayar programları kullanılmaktadır. CROPWAT 8.0 sulama planlaması programı bu tür programlardan birisidir.

Bu araştırmada CROPWAT 8.0 sulama planlaması programı kullanılarak, Bingöl Ovası koşullarında kışlık buğdayın sulama planlaması belirlenmiştir. Bingöl Ovası koşullarında kışlık buğdayın; yağışlı, normal ve kurak yıllar için sırasıyla 1, 2 ve 3 kez sulanması gerektiği ve elde edilen bu bulguların ülkemizde benzer iklim koşullarına sahip farklı yörelerde önceden yapılmış olan araştırma sonuçları ile uyduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR:

Allen R. G., Pereira R. S., Raes D, Smith, M. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No.56, Rome, 1998.

Allen, R. G., Smith, M., Perrier, A., Pereira, L.S. *An update for definition of reference evapotranspiration*. ICID Bull. Vol.43, N0.2, s.1-34, 1994a.

Allen, R. G., Smith, M., Pereira, L. S., Perrier, A. *An update for calculation of reference evapotranspiration*. ICID Bull. Vol.43, N0.2, s.35-92, 1994b.

Allen, R. G., Smith, M., Pruitt, W. O., Pereira, L. S. *Modifications to the FAO Crop Coefficient Approach*. Proceeding of International Evaporation and Irrigation Scheduling Conference: 124-132, 3-6 November 1996, San Antonio, TX, 1996.

FAO, 2010. http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html, (Erişim Tarihi: 28.04.2010)

Anonim, 2024, *Bingöl İli Tarımsal Üretim Verileri*, Bingöl Tarım ve Orman İl Müdürlüğü

Başkan, M. *Su Tüketiminin belirlenmesinde yeni yaklaşımlar (Potansiyel ve Referans Evapotranspirasyon Yöntemleri)*. In: Şener, S. (Ed.), *Sulama Teknolojisinde Yeni Gelişmeler*

Semineri, 13-24 Eylül 1993, Tarsus, 50-78, Köy Hiz. Genel. Müd, Yayınları, No: 76, Ankara, 1993.

Baştuğ, İ. *Bitki su setresinin niceliksel ifade biçimleri ve sulama zamanının belirlenmesinde kullanılmaları*. Akdeniz Üniv. Ziraat Fak. Dergisi 7 (1): 114-128, 1994.

Çap, Y. 2017. *Tamamlayıcı Sulamanın Buğdayın Verim Ve Kalitesine Etkisi (Yüksek Lisans Tezi)*, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Demir, A. D. 2016. *Farklı Sulama Stratejileri ile Atık Su Uygulamalarının Bingöl Koğullarında Domates Bitkisinin Verim ve Kalitesi ile Toprak Özelliklerine Etkisi (Doktora Tezi)*, <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/48825>

Demir, Y., Canbolat, M. Y. *The Classification of Soils Formed Over Göynük River (Bingöl) Terraces and Determination of Their Physico-Chemical Properties*. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 5(4), 604-612, 2018.

Demir, Y., & Canbolat, M. Y. *Bingöl İli Toprak Bitki ve Su Kaynakları, Bölüm 5: Bingöl Ovası Çayağzı Mevkii Topraklarının Bazı Hidrofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi Ve Değerlendirilmesi*, Publisher: Gece Publishing:69-83, (2021).

Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. *Guidelines For Predicting Crop water Requirements*. FAO, Irrig. and Drain. Paper No: 24, Rome, Italy, 1977.

Falamarzi, Y., Palizdan, N., Huang, Y.F., Lee, T. S. *Estimating evapotranspiration from temperature and wind speed data using artificial and wavelet neural networks (WNNs)*. Agricultural Water Management, 140, 26-36, 2014.

FAO. 2024. *CROPWAT 8.0*. (http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html), (Erişim Tarihi: 25.10.2024).

Feng, Y., Cui, N., Zhao, L., Hu, X., Gong, D. *Comparison of ELM, GANN, WNN and empirical models for estimating reference evapotranspiration in humid region of Southwest China*. J. Hydrol, 536, 376–383, 2016.

Güngör H., Yıldırım, O. *Tarla Sulama Sistemleri*. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları, No:1155, Ankara, 1989.

Kanber, R. *Sulama*. Çukurova Üniv. Ziraat Fak. Yayınları, No: 174, Adana, 1999.

Kaya, S, Evren, S, Dascı, E, Adıgüzel, M. C. *Evapotranspiration and crop coefficients of drip-irrigated apricot trees under semiarid climatic conditions*, Journal of Food, Agriculture & Environment, Vol.11 (1): 883-886, 2013.

Kaya, S. The Effect of Global Climate Change on Monthly and Annual Precipitation Amounts in Bingöl Province (Turkey). *International Journal of Food, Agriculture and Animal Sciences*, 3(2), 1-12, (2023).

Kaya, S. 1997. Erzurum-Sakalikesik Ovası Topraklarının Sulama Yönünden İncelenmesi Üzerine Bir Araştırma (Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kaya, S., & Özdengiz, A. *Erzurum-Sakalikesik Ovası Sulama Suyu İhtiyacının Bilgisayar Programı Kullanılarak Belirlenmesi*. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 44(1), 33-41, (2013).

Kaya, S., Meral, R. Demir, A. D. *Erzurum Ovası Koşullarında Şekerpancarı Sulama Programının Belirlenmesi*. 1. Uluslararası Anadolu Şekerpancarı Sempozyumu, 20-22 Eylül 2012, Kayseri. 1. Uluslararası Anadolu Şekerpancarı Sempozyumu Kitapçığı, s. 209-214, 2012.

Koç, D. L., & Kanber, R. Bowen Oranı Enerji Dengesi Yöntemiyle Buğday Su Tüketiminin Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım Ve Doğa Dergisi*, 23(2), 544-553. 2020. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.597980>

MGM. 2024. *Analizler, Resmi İstatistikler*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Alıntılanma adresi: (<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m>), (Erişim Tarihi: 17.06.2024)

Najifar, P. *Yapılarda Yağmur Suyu Kullanma Olanakları*. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı, Ankara, 2018.

Özdengiz, A. *Bitki Su Tüketimi Ve Rasyonel Bir Sulamanın Ana İlkeleri*. IV. Ulusal Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Bildirileri, 24-26 Haziran 1992, 1-15, Erzurum, 1992.

Pereira, L. S, Paredes, P., Hunsaker, D.J., Lopez-Urrea, R, Mohammadi Shad, Z. *Standard Single And Basal Crop Coefficients For Field Crops*. Updates and advances to the FAO56 crop water requirements method. *Agric Water Manag* 243:106466, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106466>

Sevim, Z. *Erzurum Koşullarında Buğdayın Su Tüketimi*, Köy Hiz. Gen. Müd. Erz. Araşt. Enst. Müd. Yayını, 19, 17-38, 1988.

Smith, M. *Cropwat: A Computer Program For Irrigation Planning and Management*. FAO Irrigation and Drainage Paper, No: 46, Rome, Italy, 1992.

Smith, M., Allen, R.G. and Pereira, L.S. *Revised FAO Methodology for Crop Water Requirements*. Proceeding of International Evaporation and Irrigation Scheduling Conference:116-123,3-6 November 1996,San Antonio,TX, 1996.

Smith, M., Allen, R.G., Monteith, J.L., Perrier, A., Pereira, L.S. and Segeren, A. *Report Of The Expert Consultation Procedures For Revision Of FAO Guidelines For Protection of Crop Water Requirements*. UN-FAO, Rome, Italy, 54 p, 1991.

Soylu, H. *Bingöl'ün Coğrafi özellikleri*. III. Bingöl Sempozyumu Bildirileri, 413-435, 17-19 Eylül 2010, Bingöl, 2013.

TAGEM. *Türkiyede Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberi*, T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2016.

Uçak, A.B., Gençoğlan, C., Değirmenci, H. *The Effect of Direct and Traditional Seeding Methods and Different Water Levels on the Water–Yield Relationship of Drip Irrigated Corn*. *Journal of Food, Agriculture Environment*, 11(3-4), 828-833, 2013.

Yavuz, Y. 2023. *Küresel İklim Değişikliğinin Referans Evapotranspirasyon Üzerindeki Etkisinin Bingöl Ovası Koşullarında İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış)*, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yazgan, S., H. Büyükcangaz, Ç. Demirtaş ve B.N. Candoğan. *Genç Kiraz Ağaçlarında (Prunus avium) Farklı Sulama Programlarının Vegetatif Gelişme Parametreleri ve Bitki Su Tüketimi Üzerine Etkileri*. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2), 1-12, 2004.

ÇEMEN BİTKİSİNİN ÖNEMİ VE TÜRKİYE'DEKİ GÜNCEL DURUMU

Y.L. Öğrencisi Ayşe TAŞKIN

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü
taskin.ayse1629@gmail.com – (0009-0008-4402-4043)

Doç. Dr. Muhammad Azhar NADEEM

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü
manadeem@sivas.edu.tr – (0000-0002-0637-9619)

ÖZET

Çemen bitkisi *Fabales* takımı, *Fabaceae* familyası, *Trigonella* cinsi içerisinde yer almaktadır. Ülkemizde sık görülen ve yetiştirilen türü *Trigonella foenum graecum* L.'dur. Çemen bitkisinde gerek toprak üstü kısmı gerekse tohumu birçok amaç için kullanılmaktadır. Bitkinin tohumları ve yeşil aksamı gerek yeşil olarak gerekse kurutulmuş hayvan beslenmesinde kullanılmaktadır. Aynı zamanda iyi bir yeşil gübre bitkisidir. Bitkinin tohumlarına öğütülme işlemi yapılarak baharat olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda tıbbi ve aromatik bitkiler içerisinde de çemen bitkisi önemli bir konumdadır. Tohumu öğütüldükten sonra toz haline getirilerek tüketilmesi sağlık açısından birçok iyileştirici özelliği olduğu yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Çemen bitkisinden halk arasında, ateş düşürücü, balgam söktürücü, yara iyileştirici olarak, birçok iyileştirici özelliğinden yararlanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Trigonella foenum-graecum* L., çemen, kullanım alanları, bitkisel özellikleri

1. Giriş

Bitkiler, hayatımızda önemli bir yer kaplamaktadır ve çok yönlü olarak yararlanılmaktadır. İnsan beslenmesinde bitkilerin bazılarında doğrudan faydalanılırken, bazı bitkilerden dolayı olarak fayda sağlanmaktadır. Bitkiler; tahıllar, endüstri ve yağ bitkileri, ilaç-baharat bitkileri gibi birçok farklı gruplara ayrılmışlardır. Aynı zamanda ilaç-baharat grubu bitkilerin büyük bir bölümü tıbbi ve aromatik bitkiler olarak da bilinmektedir (Beyzi E. 2011).

Tıbbi ve aromatik bitkiler yönünden dünyanın en zengin ülkeleri içerisinde Türkiye'de bulunmaktadır. Bu bitkiler gerek floramızdan toplanması gerekse kültürü yapılarak üretilmesi ile geleneksel kültürel zenginliğimizin bir parçası olmuştur. Yaygın olarak Dünyada bulunan susam, çemen, zencefil, rezene, kimyon gibi önemli tıbbi ve aromatik bitkilerin Türkiye'de

üretimi yapılmaktadır. Bu bitkiler içerisinde çemen çok önemli bir yere sahiptir (Gökçe Z., Efe L. 2016).

Kökene Anadolu'ya dayanan ve bir kültür bitkisi olan çemen, geniş adaptasyon özelliğine sahip bir bitkidir. Toprak isteği yönünden kanaatkâr olması ve de geniş bir kullanım alanlarına sahip olması nedeniyle asırlardan beri çemen bitkisi bulunduğu ekolojide önemli bir kültür bitkisi haline gelmiştir. Başka yarı kurak bölge bitkilerinde görüldüğü gibi, çemen bitkisinin ekim alanlarında da son zamanlarda daralmalar görülmüştür. Ekim alanlarında görülen daralmaların nedeni olarak, Anadolu'da mevcut genetik zenginlikten tam olarak yararlanılamamasının etkisinin olduğu düşünülmektedir. Bu genetik materyal zenginliği nedeniyle, yüksek kaliteli ve verimli çeşitlerin ıslahı üzerine çalışılmalar yapılmamıştır. (Beyzi E, İlbaş A, Gürbüz B. 2010)

Ilıman iklim bölgelerinde iyi gelişim gösteren ve kışlık olarak ekimi yapılan, kuraklığa ve yüksek sıcaklıklara dayanıklılığı yüksek olan çemen bitkisinin Türkiye'de yetiştiriciliği; sıcak iklim bölgelerinde kışın ya da erken ilkbaharda, soğuk iklim bölgelerinde ise yaz mevsiminde yapılmaktadır (Kevseroğlu K, Özyazıcı G. 1997).

Türkçe karşılığı "çemen" olan *Trigonella foenum-graecum*, latince *Trigonella* küçük üçgen manasına gelmektedir. Bilindiği üzere çemen bitkisinin küçük ve beyaz çiçekleri üçgen şeklindedir (Akbay F, Erol A. 2019).

2. Çemen Bitkisinin Genel Özellikleri

2.1. Taksonomisi

Çemen *Fabales* takımı, *Fabaceae* (Baklagiller) familyası, *Trigonella* cinsi içerisinde bulunan bir bitkidir. Türkiye'de kültürü yapılmakta olan türü *Trigonella foenum-graecum* L.'dur. Ülkemizde *Trigonella* türlerinin dağılışı şu şekildedir: Kayseri, Gaziantep, Adana, Konya, Hatay, Mersin, Mardin ve Şanlıurfa (Kan Y, Mülayim M. 2006).

Halk arasında buyotu olarak da isimlendirilen çemen *Trigonella* türleri, baklalarının görüntüsü nedeniyle, eski Yunanlılar tarafından inekboynuzu ya da keçi boynuzu olarak isimlendirilmiştir. Cinsin adı ise *Trigonella foenum-graecum* türünde çok bariz bir şekilde görülen bitkinin üç yapraktan oluşan tepe kısmı sebebiyle, Latince Üçgen sözcüğünden Carl Linnaeus adlandırmıştır (Tokbay İ. 2007).

Trigonella cinsi genelde Akdeniz ve çevresinde dağılım göstermekte olup, 50 kadar tür içermektedir. Ülkemizde bulunan türlerden bazılarının doğal bir şekilde yetiştiriciliği yapılmaktadır. Türkiye'de yaygın olarak kültürü yapılan türü ise *Trigonella foenum-graecum* L. türüdür (Bozdemir Ç., Çinkaya N., Bağdat R. 2016).

2.2. Bitkisel Özellikleri

Türkiye şartlarında yetiştirilen çemen, tek yıllık otsu bir yapıda olup 30-60 cm aralığında boylanan, içi boş ve sapları yuvarlağa yakındır. Gelişimin ilk döneminde tüylü sonrası ise sade bir yapı göstermekte olup, koyu yeşil renklidir. Yan dallar, yonca gibi üçlü yapıda olup, yaprak koltuklarından çıkmaktadırlar. Yaprak saplarının uzunluğu yaklaşık 5.3 mm civarında, üst kısım

yapraklar ise biraz kalın ve de tüylü bir yapıdadır. Yaprakçıkların uzunluğu 10-40 mm aralığında, genişliği ise 8-15 mm aralığında olup, ters yumurta biçimi göstermektedirler. Dip kısımda ise her zaman kama biçiminde değişim göstermektedir. Orta yaprakçıklar uzun sapçıklı, yandaki yaprakçıklar ise sapsız bir şekilde bağlanmışlardır(Erol A, Uslu Ö, Kızılsimsek M, Gedik O. 2016).

Çemen bitkisinin her bir üç yaprakçığın da taban kısmının kenarları düz ve üst kısımları ise dişli yapıdadır. Fakat yonca bitkisine kıyasla orta damar kısmı çok belirgin değildir. Kulakçık epey büyük ve üçgene benzer yapıda olup, mızrak formundan yumurta formuna kadar değişim göstermektedir. Çiçeklerin uzunluğu 10-18 mm arasında olup, tek ya da çift şekilde yaprakların koltuklarından çıkmakta ve sapsız bulunmamaktadır. Sarıya yakın beyaz, bazen hafif pembe renkte olan taç yapraklar, çanak yapraktan iki kattan daha fazla uzun yapıdadırlar. Taç yaprak, dışında tek bayrak, içinde iki tane kanatçık ve de kayıkçıktan oluşmaktadır. Kanatçıklar bayrakçıktan yarı uzundur. Kayıkçık, düz ya da dairesel biçimde olup, yalnızca çanak uzunluğundadır. Taban bölgesinde altı kısımlı olan taç yapraklar, belirgin bir şekilde tüylü olan çanak yaprakla sarılmıştır. Çanak yapraktaki baklaların uzunluğu 5-11 cm, sivri uçlu ve kıvrıktır. Her bir meyve, ortalama 10-20 tane arasında tohum taşımaktadır (Kan Y, Uğur Ş.).

Çemen bitkisi (*Trigonella foenum-graecum* L.) türünün olgun bir tohumu olup, tohumunun dıştan görüntüsüne bakıldığında 3-5 mm arası uzunluktadırlar. Tohum, sert köşeli olup, üzeri ince çıkıntılı, esmer kırmızı ya da sarımsı esmer renktedir. Tohumlarının öğütülmesi halinde güçlü ve ayrı bir kokuya sahiptirler (Mutlu S. 2011).

2.3. Çeşitleri

Tohumlukta safiyetin %95, çimlenme gücünün ise %90'dan düşük olmaması istenmektedir. Ülkemizde geliştirilen üç adet tescilli çemen çeşidi bulunmaktadır. Çemen ile ilgili yeni çeşitlerin geliştirilmesi için araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır (TTSM, 2020).

(Çizelge 1. Tescilli Çemen Çeşitleri. TTSM,2020)

No	Çeşit Adı	Başvuru Sahibi	Tescil Tarihi	Tür Adı	Latince Tür Adı
1764	Berkem	Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi	01.04.2015	Çemen	<i>Trigonella foenum graecum</i> L.
1775	Gürarlan	Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi	09.04.2004	Çemen	<i>Trigonella foenum graecum</i> L.
2723	Çiftçi	Geçit Kuşağı Tar. Arş. Ens. Müdürlüğü	12.04.2017	Çemen	<i>Trigonella foenum graecum</i> L.

2.4. Kullanım Alanları

Çemen, birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bilhassa gıda, tıp, eczacılık ve kozmetik gibi alanlarda yaygın olarak kullanımı bulunmaktadır. Çemen bitkisinin gerek tohumları gerekse vejetatif aksamı çok farklı amaçlar için kullanılmaktadır (Özçelik Ş. 2017)

Çemen; baharat, aroma verici, gıdaları koruyucu, takviye, kozmetik, alternatif tıp, ecza bilimi, hayvan yemi, yeşil gübre ve dokuma sektörlerinde kullanılmaktadır. Pastırma kaplama karışımının asıl tamamlayıcısıdır. Pastırmayı dış mikroorganizma tesirinden korur, lezzet ve hoş

koku verir, saklama süresini uzatır. Çeşni ürünlerinde, alkollü içeceklerde, dondurmada ve şekerlemelerde, şuruplarda, cikletlerde, şekerli soslarda, jelatinde, pudinglerde, şekerli kremalarda, çorbalarda, soslarda, turşularda, güveçlerde, çemen bitkisinden faydalanılmaktadır (Kıralan M, Yorulmaz A, Çalıkoğlu E, Bayrak A. 2017).

Çemen, tıp alanında kanser ve akciğer hastalıklarında, nefes darlığında ve astım iyileştirici özelliklerinin yanı sıra gaz çıkartma problemlerinde, balgam söktürücü ve basuru iyileştirmek gibi özellikler göstermektedir. Çemen bitkisini haşladıktan sonra suyu ile saçların yıkanması ile saçlar kıvrıklaşır ve kepeği önlemekte etkilidir. Tohumu haşlanıp incir ve bal ile yemekten önce tüketildiğinde karnı yumuşatarak göğüs ve midedeki balgamı söktürür ve geçmeyen öksürüğü kesmektedir. Şeker ve tereyağı ile birlikte tüketildiğinde, derin yaraları iyileştirici etkisi olduğu görülmüştür (İnanan B., Kanyılmaz M. 2020).

Dünyada çemen bitkisinin hem tohumlarının hem de vejetatif kısmının çeşitli kullanımına örnekler gösterilecek olursa; Afrika'da kahve olarak, İsviçre'de peynire lezzet vermek için, İsrail'de bitki zararlılarını uzaklaştırmak için ve antibiyotik yerine, Almanya'da yapay Akçağaç şurubunun yerine, Fransa'da güzel kokularda kullanılmaktadır. Yaprakları sebze olarak değerlendirilirken, aynı zamanda tohum filizleri nefis salata çeşnisi olarak tüketilmektedir. Köri baharatı olarak adlandırdıkları karışımın bileşiminde mevcut olan çemen otu, ayrıca Mısır ülkesinde ekmeklerin içerisine de katılmaktadır. Üstelik, Hindistan'da çemen bitkisinin yeşil aksamalarının kurutulması ile depolarda birçok kez bitki zararlılarını uzaklaştırıcı etkisinden yararlanılmaktadır. Çemen ve pamuk tohumlarını bir arada harmanlayarak hayvan beslemesinde kullanıldığında, süte akıcılık kattığı gözlemlenmiştir. Kozmetik alanında saç ilaçlarının içeriğinde kepeği önleyici ve saç dökülmesine karşı kullanılmaktadır (Baldemir A, İlgün S. 2015).

3. Çemen Bitkisinin Üretimi ve Ticareti

3.1. Türkiye'de Çemen Üretim

Ülkemiz; tıbbi ve aromatik bitkilerin doğal olarak yetiştiği zengin bir bitki örtüsüne sahiptir. Son yıllarda tıbbi ve aromatik bitkilere olan talepte artış görülmektedir. Ülkemizin önemli dışsattım işlemlerinin birini de bu bitki grubundan bitkiler oluşturmaktadır. Çemen bitkisi çok önemli baklagil familyasındandır. Asırlardan beri gıda, tıbbi ilaç, hayvan yemi ve birçok kullanım alanı olan bitkilerden birisi de çemendir. Yurt içi ve yurt dışı talepleri olan önemli bitkilerden biriside çemendir.

Ülkemizde çemen üretimi 2010 yılında 1.651 dekar alanda yapılırken, 2019 yılında yaklaşık 9 kat artış göstererek 14.499 dekar alanda yapılmaya başlanmıştır. 2012 yılında üretimi yapılan çemen miktarı 200 ton iken, hemen hemen 3.2 kat artış göstererek 645 tona erişilmiştir. Çemen bitkisinde verim yıllık yağış miktarı ile doğru orantılı olarak değişimler göstermektedir. Üretimde yıllar itibari ile isteğe göre artışlar ve düşüşler görülmektedir.

(Çizelge 2. Üretim Alanları, Üretim Miktarları ve Verim. TÜİK,2020)

YILLAR	EKİM ALANI (da)	ÜRETİM (ton)	VERİM (kg/da)
2010	1.651	200	121
2011	1.055	141	134
2012	640	67	105
2013	1.678	195	116
2014	1.974	218	110
2015	4.296	491	114
2016	8.232	914	111
2017	14.499	1.521	105
2018	7.182	745	104
2019	6.035	645	107

Ülkemizde 2019 yılında çemen üretimi yapan illere ait dağılım aşağıdaki tabloda verilmiştir. 2012 yılında yalnızca Amasya (3 ton), Çorum (16 ton), Konya (117 ton) ve Tokat (4 ton) illerinde üretimi yapılmakta olan çemen bitkisinin 2019 yılında ise 10 ilde üretimi yapılmaya başlanmıştır. İlk üç sırada yer alan illerimiz sırasıyla şu şekildedir: Sivas (94 ton), Çorum (110 ton) ve Karaman (214 ton). Belirtilen üç il ülkemizin toplam çemen üretiminin hemen hemen %652'sini gerçekleştirmektedir (TÜİK, 2020).

(Çizelge 3. 2019 Yılında Çemen Yetiştiriciliği Yapılan İller. TÜİK,2020)

İller	Alanı (da)	Üretim Miktarı (ton)	Verim (kg/da)
Karaman	1.800	214	119
Çorum	1.193	110	92
Sivas	979	94	96
Samsun	740	85	115
Yozgat	560	57	102
Konya	288	35	122
Kayseri	204	25	123
Amasya	216	21	97
Tokat	45	3	67
Afyonkarahisar	10	1	100
Toplam	6.035	645	-

Çemen bitkisinin üretimi ülkemizde istenilen düzeye ulaşamamıştır. Bunun en büyük sebepleri içerisinde insanların tüketim alışkanlıkları hedef gösterilebilir. Çemen bitkisinden elde edilen ürünlerin kullanılması, toplumlar içerisinde geniş alanlara yayılması ile birlikte bitkinin ekiliş alanı ve aynı zamanda üretimindeki artışlardan kaynaklanmaktadır. Bunun beraberinde bitkinin

dış satımı ise istenilen düzeyde değildir. Bitkinin yeterince tanıtılmaması istenilen düzeyde olmamasının en önemli sebebidir (Beyzi E, İlbaş A, Gürbüz B. 2010).

Kullanım alanlarının genişletilmesi, bitkilerden sağlanacak ürünlerin kalitesini iyileştirecek ve beraberinde bu bitkinin öneminin zamanla artırılmasına neden olacaktır. Bunun sonucunda ise tıbbi ve aromatik bitkilere karşı son zamanlarda ilginin artması çemen bitkisinin de payına düşeni almasına vesile olacak ve dış satımla üretim miktarının hak ettiği seviyeye geleceği beklenmektedir (Beyzi, E., 2011)

3.2. Çemen Bitkisinin Ticareti

Çemen tohumunda dış satımımız, 2011 yılında 155 ton civarında iken, 2019 yılında %79 oranında artış göstererek 196 ton civarına kadar yükselmesine neden olmuştur. 2010 yılında dış ticaretten 257 bin dolar kazanılmış ve 2019 yılında ise 594 bin dolar gelir sağlanmıştır. Çemenin dış ticaretteki miktarı 2010 yılında 316 kg iken, 2019 yılında yaklaşık 24 kat artış göstererek 24.3 tona kadar yükselmiştir. 2010 yılında çemen dış satımı 16 bin dolar, 2019 yılında ise yaklaşık 35 bin dolar olarak meydana gelmiştir. Ülkemizde, çemen ile ilgili olarak hem dış alım hem de dış satım ticareti gerçekleştirdiğimiz görülmektedir (ÇEMEN Fizibilite Raporu ve Yatırımcı Rehberi).

(Çizelge 4. Çemen Dış Ticareti. TÜİK,2020)

Yıl	İhracat		İthalat	
	Miktar (Ton)	Değeri (Bin Dolar)	Miktar (Ton)	Değeri (Bin Dolar)
2010	155,2	257,7	0,316	16,1
2011	76,8	104,8	68,6	43,9
2012	48,8	80,1	898,1	564
2013	67,4	106,5	311,6	171,9
2014	96,4	162,7	71	48,6
2015	141,6	217,4	21,1	37,1
2016	74,4	117,4	30	41,1
2017	42,9	60,5	0,06	0,345
2018	100,5	134,2	0,34	1,3
2019	195,9	594,2	24,3	34,8

Kaynaklar

Beyzi, E., Çemen (*Trigonella foenum-graecum* L.)'de Farklı Fosfor Dozlarının Verim ve Bazı Morfolojik Özellikler Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011.

Baldemir, A., İlgün, S. (2015). Geçmişte ve günümüzde çemen otunun kullanım alanları: *Trigonella foenum-graecum* L. Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi, 5(1).

Beyzi, E., İlbaş, A., Gürbüz, B. (2010). Çemen (*Trigonella foenum-graecum* L.) ve Genel Özellikleri. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26(4).

Gökçe, Z., Efe, L.(2016). Çemen (*Trigonella foenum-graecum* L.) Bitkisinin Kullanım Alanları ve Tıbbi Önemi. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, TARGİD Özel Sayı 355-363.

Akbay, F, Erol A., Farklı Çemen Genotiplerinin Morfolojik ve Tarımsal Özellikleri Yönünden Değerlendirilmesi, International Agricultural Congress of Muş Plain, 24-27, Muş, 2019.

Tarım ve Orman Bakanlığı, Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü, ÇEMEN Fizibilite Raporu ve Yatırımcı Rehberi, 2020.

www.tuik.gov.tr. “Türkiye İstatistik Kurumu Web Sayfası”. (Erişim tarihi: 14.12.2024)

1st INTERNATIONAL – 4th National Health Services Congress, Congress Book, 2022.

Kan, Y., Mülayim, M. (2006). Organik ve inorganik gübrelerin çemen (*Trigonella foenum graecum* L.)'in bazı tarımsal karakterleri üzerine etkileri. Bitkisel Araştırma Dergisi 1: 6–15.

Erol A, Uslu Ö, Kızıllışımsek M, Gedik O. ‘III. Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Sempozyumu Tam Metin Bildirileri Kitabı, 2016.

Kan, Y., Uğur, Ş. (2016) Ankara (Gölbaşı) Şartlarında Farklı Ekim Zamanlarında Yetiştirilen Çemen (*Trigonella Foenum Graecum* L.)'un Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi, 3(2).

Akbay. F., Farklı Çemen Genotiplerinin Morfolojik ve Tarımsal Özellikleri Yönünden Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2017.

Mutlu, S., Farklı Orjinli Çemenlerin (*Trigonella Foenum-Graecum* L.) Bazı Fenolojik, Morfolojik Ve Verim Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Samsun, 2011.

Tokbay, İ., Aydın Ekolojik Koşullarında Farklı Ekim Zamanı Ve Sıra Aralığının Çemen (*Trigonella Foenum-Graecum L.*)’in Verim Ve Kalite Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Aydın, 2007.

Bozdemir, Ç., Çinkaya, N., Bağdat, R. (2016). Ankara Ekolojik Şartlarında Kışlık Çemen (*Trigonella foenum-graecum L.*) Yetiştirme Çalışmaları. Ziraat Mühendisliği Dergisi, 363 s.

Aydın, A., Farklı Orijinli Çemen (*Trigonella foenum-graecum L.*) Populasyonlarında Bazı Önemli Morfolojik, Fenolojik ve Kalite Kriterlerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Samsun, 2010.

Kıralan M, Yorulmaz A, Çalikoğlu E, Bayrak A. (2017) Çemen otu (*Trigonella foenum-graecum L.*) tohumunun yağ asitleri ve sterol bileşim. Derim Dergisi, 34(2).

İnanan, B. E., Kanyılmaz, M. (2020). Kakule, Ayçiçeği ve Çemen Otu Tohumları Ekstraktlarının Sazan Balığı (*Cyprinus carpio L.*) Sperm Motilitesine ve Oksidatif Strese In Vitro Etkileri. Türk Tarım –Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(1).

Özçelik, Ş., Çemen otunun (*Trigonella foenum-graecum L.*) yeşil aksamının, kuru otunun ve tohumunun yem değerlerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Kırşehir, 2017.

Kızıl, S., Arslan, N. (2003). Bazı çemen hatlarında farklı ekim normlarının verim ve verim özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi, 9(4).

Öz, A., Farklı ekim zamanı, sıra aralığı ve ekim sıklığının çemen ’in (*Trigonella foenum graecum L.*) verim ve bazı verim unsurları üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2014.

TUZ STRESİ ALTINDA YETİŞTİRİLEN İSKENDERİYE ÜÇGÜLÜ (*Trifolium alexandrinum* L.) BİTKİSİNİN BAZI ÇİMLENME VE FİDE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Semih AÇIKBAŞ

Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü
semihacikbas@siirt.edu.tr orcid.org/0000-0003-4384-3908

ÖZET

Bu çalışmada, tuz stresinin İskenderiye üçgülü (*Trifolium alexandrinum* L.) bitkisinin çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma, Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Laboratuvarı'nda, 25 ± 1 °C kontrollü şartlar altında yürütülmüştür. Çalışmanın bitkisel materyalini Efsane İskenderiye üçgülü çeşidi oluşturmuştur. Laboratuvar çalışması, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekrarlamalı olarak petri kaplarında kurulmuştur. Çalışmada; tuzun (NaCl) 0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM ve 200 mM dozları araştırmanın konusunu teşkil etmiştir. Denemede 7. günün sonunda her bir petri kabındaki bitkilerden rastgele seçilen 10 bitki üzerinden ölçümler yapılmıştır. Çalışmada çimlenme parametrelerinden; çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi, çimlenme üniformite katsayısı, çimlenme indeksi ve çimlenme enerjisi ile fide parametrelerinden fide yaş ağırlığı ve fide güç indeksi özellikleri incelenmiştir. Artan tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak İskenderiye üçgülü tohumlarının daha geç çimlendiği belirlenmiştir. Tuz konsantrasyonlarının artmasına bağlı olarak incelenen tüm çimlenme ve fide gelişim parametrelerinde anlamlı azalmalar olduğu tespit edilmiştir. İncelenen tüm çimlenme ve fide gelişim özelliklerinde genel olarak tuzluluğun olumsuz etkileri 100 mM dozunda başlamıştır. Düşük tuz yoğunluğu olan 50 mM konsantrasyonlara İskenderiye üçgülünün dayanıklı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İskenderiye üçgülü, Tuz Stresi, Çimlenme indeksi, Fide yaş ağırlığı

DETERMINATION OF SOME GERMINATION AND SEEDLING CHARACTERISTICS OF BERSEEM CLOVER (*Trifolium alexandrinum* L.) GROWN UNDER SALT STRESS

ABSTRACT

This study aims to determine the effects of salt stress on the germination and seedling development of Berseem (*Trifolium alexandrinum* L.). The research was conducted at the Field Crops Laboratory of the Faculty of Agriculture, Siirt University, under controlled conditions at 25 ± 1 °C. The plant material of the study consisted of the Efsane cultivar of Berseem (*T. alexandrinum* L.). The laboratory study was set up in Petri dishes with 4 replications according to randomized complete plots design. In the study, salt (NaCl) doses of 0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM, and 200 mM were the subject of the investigation. Measurements were conducted on 10 plants randomly selected from each petri dish at the end of the 7th day. Germination parameters such as germination percentage, average germination time, germination uniformity coefficient, germination index, and germination energy, as well as seedling parameters such as seedling fresh weight and seedling vigor index, were investigated in the study. It was determined that *Trifolium alexandrinum* seeds germinated more slowly with increasing salt concentrations. Significant reductions were observed in all germination and seedling development parameters examined as salt concentrations increased. In all the germination and seedling growth traits examined, the negative effects of salinity generally began at a dose of 100 mM. It was determined that Berseem is tolerant to low salt concentrations, such as 50 mM.

Keywords: Berseem, Salinity, Germination index, Seedling fresh weight

1. GİRİŞ

Üçgüllü, baklagiller familyası içerisinde yer alan ve genellikle ılıman iklim kuşağında yetiştirilen yem bitkileridir (Williams ve ark., 2019). Üçgüllü içerisinde yer alan İskenderiye üçgüllü (*Trifolium alexandrinum* L.) yüksek besleyicilik özelliğinden dolayı tercih edilmekle birlikte diğer yem bitkilerine göre; yeşil, etli yaprakları ve gövdelerini hızlı yenilenme gücü nedeniyle bu bitki “yem bitkilerinin kralı” olarak adlandırılmaktadır. İskenderiye üçgüllü uzun bir sezon yeşil yem elde edilebilmesi ve birden fazla kesim yapılabilmesi gibi özellikleri ile ruminant hayvanların beslenmesinde çok önemli bir besin kaynağıdır (Açıkbaş ve Özyazıcı, 2022a; Jabbar ve ark., 2022; Mahesha ve ark., 2022; Yadav ve ark., 2022). Ayrıca, bu belirtilen önemli özelliklerine ek olarak, süt sığırlarında süt artırıcı yönü ile de ön plana çıkmaktadır (Pathak ve ark., 2015; Praveen ve ark., 2022).

Sağlıklı hayvansal ürün elde edilmesi için hayvanların kaliteli yem tüketmeleri ile doğrudan ilişkili olduğundan (Bıçakçı ve Açıkbaş, 2018), iskenderiye üçgülü mineral içeriği zengin, sindirilebilirliği yüksek, oldukça lezzetli, yüksek protein içeriği, toprak verimliliğini artırma potansiyeli gibi özellikleri ile ruminantlar için önemli ve popüler yemlerden biridir (Hackney ve ark., 2007; Garg ve ark., 2016; Roy ve ark., 2019; Khanduri ve ark., 2021). Ayrıca, diğer bazı baklagil yem türlerinin aksine geviş getiren hayvanlarda şişkinliğe neden olmaması ile de ön plana çıkmaktadır (Daneshnia ve ark., 2016).

Tuzluluk, kurak ve yarı kurak bölgelerde bitkisel üretimi sınırlayan en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Özellikle tohum çimlenmesi ve çimlenme sonrası fide aşamaları, bitki gelişiminde kritik aşamalarıdır. Bu dönemler özellikle bitkilerin tuzluluğa en hassas olduğu aşamalarıdır (Acikbas ve ark., 2021). Bu bilgiyi destekler nitelikte yapılan birçok çalışmada, tuz konsantrasyonlarının bitkiye göre yoğunluğu değişmekle birlikte, tohum çimlenmesini engellediği ve çimlenen tohum yüzdesini azalttığı rapor edilmiştir (Khan ve Weber, 2008; Ceritoğlu ve Erman, 2020; Özyazıcı ve Açıkbaş, 2021). Tuzluluğun etkileri öncelikle genç yapraklarda daha sonra çok yaşlı yapraklarda iyon toksisitesi (Munns and Tester, 2008), mineral besin maddelerinin alımının azalması (Xu et al., 2016), yavaş ve yetersiz çimlenme (Ekmekçi et al., 2005) gibi birtakım fizyolojik, morfolojik ve biyokimyasal olaylarla ortaya çıkar.

Tuzluluk stresine olan dayanıklılık bitkiden bitkiye farklılık göstermektedir. Bu nedenle tuzluluk problemi olan tarım alanları için tuzlu koşullara daha iyi yetişebilen tür ve çeşitlerin belirlenmesi zorunluluk haline gelmiştir (Özyazıcı ve Açıkbaş, 2021). Bu çalışmanın amacını, tuz stresinin İskenderiye üçgülü (*T. alexandrinum* L.) bitkisinin çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkilerinin belirlenmesi oluşturmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Laboratuvarı'nda kontrollü şartlar altında yürütülmüştür. Bitkisel materyal olarak, İskenderiye üçgülü (*T. alexandrinum* L.) bitkisinin “Efsane” çeşidi kullanılmıştır.

Çalışmada, tuzun (NaCl); 0, 50, 100, 150 ve 200 mM dozları araştırmanın konusunu oluşturmuştur. Laboratuvar denemesi, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Her bir tekerrür için 50 adet tohum kullanılmıştır. Tüm uygulamalarda tohumlar 1 dakika % 70 etil alkolde steril edildikten sonra 3 defa steril su ile durulanmıştır. Daha sonra tohum yüzeyindeki mikroorganizmaların deforme olması için 1 dakika % 10'luk sodyum hipoklorit (NaOCl) + % 0.01 tween20 solüsyonu ile tohumları kaplayacak şekilde yüzey sterilizasyonu gerçekleştirilmiştir. Steril hale gelen tohumlar Petri (90 mm x 15 mm) kaplarında bulunan iki katlı Whatman filtre kâğıdının arasına yerleştirilmiştir.

Beş farklı konsantrasyonda hazırlanan tuz dozları, her bir Petri kabına 3 ml olacak şekilde uygulanmıştır. Petri kapları 25±1 °C sıcaklığa ayarlı etüv (BINDER, GmbH, Almanya)'de çimlenmeye bırakılmıştır. Çalışmanın bittiği güne kadar 48 saatte bir kuruluk durumuna göre 3 ml uygun tuz dozu Petri kaplarına ilave edilmiştir. Çalışmada, 24 saate 1 kez olacak şekilde

tohumlar sayılmıştır. Deneme 7. günün sonunda her bir Petri kabındaki bitkilerden rastgele seçilen 10 bitki üzerinden fide yaş ağırlığı ölçümü yapılmıştır. Çalışmada, ayrıca; çimlenme oranı, ortalama çimlenme süresi, çimlenme üniformite katsayısı, çimlenme indeksi, çimlenme enerjisi ve fide güç indeksi özellikleri incelenmiştir.

Çimlenme oranı parametresi, her 12 saatte bir çimlenen tohumlar sayılarak Scott ve ark. (1984)'nın kullandığı Eşitlik 1'e göre belirlenmiştir.

$$\text{Çimlenme oranı} = (N_{CTS}/TS) \times 100 \quad (1)$$

Eşitlikte N_{CTS} , normal çimlenen tohum sayısını; TS , kullanılan toplam tohum sayısını ifade etmektedir.

Ortalama çimlenme süresi genel olarak tohumların çimlendiği günü belirlemede kullanılmakta olup, Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır (Ellis ve Roberts, 1981).

$$\text{Ortalama çimlenme süresi} = \sum(N_i T_i / N_i) \quad (2)$$

Burada N_i , T_i gününde çimlenen tohum sayısını; T_i , çimlenmenin başlangıcından itibaren geçen günlerin sayısını ifade etmektedir.

Çimlenme indeksi Eşitlik 3 (Wang ve ark., 2004), çimlenme üniformite katsayısı Eşitlik 4 (Bewely ve Black, 1994), çimlenme enerjisi Eşitlik 5 (Li ve ark., 2020) ve fide güç indeksi Eşitlik 6 (Kalsa ve Abebie, 2012) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Çimlenme indeksi} = \sum(G_i / T_i) \quad (3)$$

Eşitlikte G_i , i. gündeki çimlenme oranı ve T_i , çimlenme süresinin günleridir.

$$\text{Çimlenme üniformite katsayısı} = \sum n / \sum[(OCS-t)^2 n] \quad (4)$$

Eşitlikte t , ekim günü olan 0. günden başlayarak gün cinsinden süreyi; n , t gününde çimlenmeyi tamamlayan tohum sayısını ifade etmektedir.

$$\text{Çimlenme enerjisi} = (T_1/N) \times 100 \quad (5)$$

Eşitlikte T_1 , birinci günde çimlenen tohum sayısını; N , toplam tohum sayısını ifade etmektedir.

$$\text{Fide güç indeksi} = \text{Çimlenme oranı} \times \text{fide yaş ağırlık (g)} \quad (6)$$

Elde edilen veriler, tesadüf parselleri deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuş, F testi sonuçlarına göre gruplar arasındaki farklılıklar TUKEY çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir (Açıkgöz ve Açıkgöz, 2001).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

İskenderiye üçgölünde farklı tuz konsantrasyonlarındaki bazı çimlenme ve fide gelişim parametrelerine ilişkin bulgular Çizelge 1'de verilmiştir.

İncelene tüm çimlenme ve fide gelişim parametrelerine tuz konsantrasyonlarının etkisi istatistiki anlamda $p < 0.01$ düzeyinde önemli olmuştur. Çalışmada, tuz konsantrasyonlarının artışına bağlı olarak çimlenme yüzdesinin azaldığı, en yüksek çimlenme oranı değerinin % 98.7 ile tuzun uygulanmadığı kontrol grubunda saptandığı görülmüştür. En düşük çimlenme oranı ise tuzun en yüksek dozda uygulandığı 200 mM konsantrasyonda (% 9.3) tespit edilmiştir.

Çimlenme yüzdesi bakımından tuz stresinin anlamlı etkileri 100 mM tuz konsantrasyonundan itibaren görülmeye başlanmıştır (Çizelge 1).

Ortalama çimlenme süresi değerlendirildiğinde, en hızlı çimlenmeler tuz stresinin yaşanmadığı kontrol grubunda 1.07 gün olarak belirlenmiştir. Kontrol grubu ile 50 ve 100 mM tuzun uygulandığı gruplarda ortalama çimlenme süresi bakımından istatistiksel olarak farksız bulunmuştur. En geç çimlenmeler ise 150 ve 200 mM tuz konsantrasyonlarında sırasıyla 2.90 gün ve 3.73 gün olarak belirlenmiştir. Artan tuz konsantrasyonları çimlenme süresini olumsuz etkileyerek çimlenmeyi 150 mM tuz konsantrasyonundan itibaren istatistiksel olarak anlamlı şekilde etkilemiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. İskenderiye üçgülünün çimlenme ve fide gelişim özelliklerine farklı tuz konsantrasyonlarının etkisi*

İncelenen parametreler	Tuz konsantrasyonları					Önemlilik düzeyi
	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM	
Çimlenme yüzdesi (%)	98.7 a	94.7 a	74.7 b	29.3 c	9.3 d	0.0001
Ortalama çimlenme süresi (gün)	1.07 b	1.33 b	1.77 b	2.90 a	3.73 a	0.0001
Çimlenme üniformite katsayısı	92.4 a	71.7 b	43.7 c	10.2 d	2.4 d	0.0001
Çimlenme enerjisi	94.7 a	80.0 a	45.3 b	4.0 c	1.3 c	0.0001
Çimlenme indeksi	24.0 a	21.3 a	14.2 b	3.2 c	0.9 c	0.0001
Fide yaş ağırlığı (mg)	50.6 a	46.5 a	34.5 b	22.7 c	6.8 d	0.0001
Fide güç indeksi	4.99 a	4.40 a	2.57 b	0.65 c	0.07 c	0.0001

*: Aynı satırda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemli değildir.

Çimlenme üniformite katsayısı parametresi değerlerine tuz stresinin etkisi ile kontrol grubunda en iyi değer (92.4) elde edilirken, tuzun artışına bağlı olarak bu değerler anlamlı azalma göstermiş ve 150 ve 200 mM tuz konsantrasyonlarında en düşük değerlere ulaşılmıştır. Tuz stresinin ilk yaşandığı doz olan 50 mM tuz konsantrasyonunda bile istatistiksel olarak anlamlı azalmalar görülmüştür (Çizelge 1).

Çimlenme enerjisi ve indeksi özellikleri beraber değerlendirildiğinde, en yüksek sonuçlar kontrol grubu ve 50 mM tuz konsantrasyonunda elde edilirken, en düşük değerler ise 150 ve 200 mM tuz konsantrasyonlarında elde edilmiştir. Artan tuz konsantrasyonları 100 mM tuz dozundan itibaren çimlenme enerjisi ve çimlenme indeksi parametreleri istatistiksel olarak etkilemeye başlamıştır (Çizelge 1).

Erken dönem fide gelişim parametrelerinden olan fide yaş ağırlığı ve fide güç indeksi özellikleri bakımından tuz konsantrasyonlarının etkisi istatistiksel olarak 100 mM tuz dozundan itibaren olumsuz etkiler göstermiştir. En yüksek fide yaş ağırlığı ve fide güç indeksi değerleri sırasıyla 0 mM tuz dozunda 50.6 mg-4.99 ve 50 mM tuz dozunda 46.5 mg-4.40 olarak belirlenmiştir. En düşük fide yaş ağırlığı en yüksek tuz dozu olan 200 mM tuz konsantrasyonunda 6.8 mg olarak tespit edilmiştir. En düşük fide güç indeksi değerleri ise 150 mM (0.65) ve 200 mM (0.07) tuz konsantrasyonlarında elde edilmiştir. Artan tuz konsantrasyonları bağlı olarak fide parametrelerinin gelişimleri olumsuz yönde etkilenmiştir (Çizelge 1).

Bitkilerde tuzluluğun stresinin etkilerinin incelendiği çalışmalardan burçak (Özyazıcı ve Açıkbaş, 2022b), kinoa (Beyazçiçek ve Yılmaz, 2020), yem bezelyesi (Demirkol ve ark., 2019),

çemen (Özyazıcı ve Açıkbaş, 2021), nohut ve bezelye (Dadaşoğlu ve ark., 2020) bitkilerinde tuzun etkisine bağlı olarak çimlenme yüzdesinin azalttığı bildirilmiştir.

Farklı bitki tür/çeşitleri ile yapılan çalışmalarında çimlenme özelliklerinden çimlenme üniformite katsayısı, çimlenme indeksi, çimlenme enerjisi ve fide gelişim parametrelerinden fide yaş ağırlığı ve fide güç indeksi parametrelerinde tuz stresine bağlı olarak farklı tuz yoğunluklarında azalmalar olduğu ve aynı zamanda artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak ortalama çimlenme süresinin daha geç olduğu rapor edilmiştir (Khalid ve ark., 2001; Atış, 2011; Doğan ve Çarpıcı, 2016; Güngör ve ark., 2017; Kuşçu ve ark., 2018; Öner ve ark., 2018; Açıkbaş ve ark., 2023).

4. SONUÇ

İskenderiye üçgölünde beş farklı tuz konsantrasyonunun, çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkisini belirlemek amacıyla yürütülen bu araştırmada; tuzluluğun, çimlenme ve fide parametrelerinde önemli oranda olumsuz yönde etkilere neden olduğu sonucuna varılmıştır. İncelenen tüm çimlenme ve fide gelişim özelliklerinde genel olarak tuzluluğun olumsuz etkileri 100 mM dozunda başlamıştır. Düşük tuz yoğunluğu olan 50 mM konsantrasyonlara İskenderiye üçgölünün dayanıklı olduğu belirlenmiştir. Tuzluluk problemi yaşanan topraklarda İskenderiye üçgölünün yetiştiriciliğinde çimlenme ve fide aşamalarında sorunlar yaşanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Acikbas, S., Ozyazici, M. A., Bektas, H. 2021. The effect of salinity on root architecture in forage pea (*Pisum sativum* ssp. *arvense* L.). *Legume Research-An International Journal*, 44(4), 407-412.
- Açıkbaş, S., Özyazıcı, M.A., 2022a. Berseem (*Trifolium alexandrinum* L.). In: Y. Karadağ and S. Seydoşoğlu, *Legumes*, Iksad Publications, December, Ankara, Turkey, pp. 173-186.
- Açıkbaş, S., Özyazıcı, M.A., 2022b. Tuz stresi altındaki burçak (*Vicia ervilia* L.) bitkisinin çimlenme ve fide gelişimi. 5. Uluslararası Fen Bilimleri ve İnovasyon Kongresi, 11-12 Kasım, Ankara. s. 190-197.
- Açıkbaş, S., Özyazıcı, M. A., Bıçakçı, E., Özyazıcı, G. 2023. Germination and Seedling Development Performances of Some Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) Cultivars Under Salinity Stress. *Turkish Journal of Range and Forage Science*, 4(2), 108-118.
- Açıkgöz, N., Açıkgöz, N., 2001. Tarımsal araştırmaların istatistiki değerlendirilmesinde yapılan bazı hatalar: I. Tek faktörlü denemeler. *Anadolu*, 11(1), 135-147.
- Atış, İ., 2011. Bazı silajlık sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) çeşitlerinin çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine tuz stresinin etkileri. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(2), 58-67.

- Bewely, J., Black, M., 1994. Seeds: Physiology of Development and Germination, New York.
- Beyazçiçek, H., Yılmaz, Ş. 2020. Bazı yabancı orjinli kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) çeşitlerinde tuz stresinin çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkisi. Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 25(2), 159-168.
- Bıçakçı, E., Açıkbaş, S. 2018. Bitlis ilindeki kaba yem üretim potansiyelinin hayvan varlığına göre yeterliliğinin belirlenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7(1), 180-185.
- Ceritoğlu, M., Erman, M. 2020. Mitigation of salinity stress on chickpea germination by salicylic acid priming. International Journal of Agriculture and Wildlife Science, 6(3), 582-591.
- Dadaşoğlu, E., Ekinci, M., Yıldırım, E. 2020. Effects of salt stress on seed germination of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and Pea (*Pisum sativum* L.). Atatürk University Journal of Agricultural Faculty, 51(1), 53-62.
- Daneshnia, F., Amini, A., Chaichi, M.R. 2016. Berseem clover quality and basil essential oil yield in intercropping system under limited irrigation treatments with surfactant. Agric. Water Manage, 164, 331-339.
- Demirkol, G., Yılmaz, N., Önal Aşçı, Ö. 2019. Tuz stresinin yem bezelyesi (*Pisum sativum* ssp. *arvense* L.) seçilmiş genotipinde çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkileri. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi, 22(3), 354-359.
- Doğan, R., Çarpıcı, E.B., 2016. Farklı tuz konsantrasyonlarının bazı tritikale hatlarının çimlenmesi üzerine etkileri. KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi, 19(2), 130-135.
- Ekmekçi, E., Apan, M., Kara, T., 2005. The effect of salinity on plant growth. Anadolu Journal of Agricultural Sciences, 20(3), 118-125.
- Ellis, R.A., Roberts, E.H., 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. Seed Science and Technology, 9(2), 373-409.
- Garg, R., Shankar, R., Thakkar, B., Kudapa, H., Krishnamurthy, L., Mantri, N., Varshney, R.K., Bhatia, S., Jain, M. 2016. Transcriptome analyses reveal genotype- and developmental stage-specific molecular responses to drought and salinity stresses in chickpea. Scientific Reports, 6, 19228.
- Güngör, H., Çıkkılı, Y., Dumlupınar, Z. 2017. Bazı ticari ve yerel yulaf genotiplerinin çimlenme ve fide gelişimi üzerine tuz stresinin etkileri. Doga Bilimleri Dergisi, 20, 263.
- Hackney, B., Dear, B., Crocker, G. 2007. Berseem clover. New South Wales Department of Primary Industries, Primefacts, N°388.
- Jabbar, A., Shah, A., Basit, A., Ahmad, G., Khan, A. A., Raza, S., Sultan, M., Bazmi, A., Niazi, I.A.K., Hussain, A. 2022. Optimisation of sowing method for seed production in berseem (*Trifolium alexandrinum*). Pakistan Journal of Agricultural Research, 35(1), 52-57.

- Kalsa, K.K., Abebie, B., 2012. Influence of seed priming on seed germination and vigor traits of *Vicia villosa* ssp, *dasycarpa* (Ten.), African Journal of Agricultural Research, 7(21), 3202-3208.
- Khalid, M.N., Iqbal, H.F., Tahir, A., Ahmad, A.N., 2001. Germination potential of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) under saline conditions. Pakistan Journal of Biological Sciences, 4, 395-396.
- Khan, M. A., Weber, D. J. 2008. Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants (Tasksfor Vegetation Science), 1st ed. Springer, Amsterdam.
- Khanduri, J., Sinha, V. B., Rautela, I., Rayal, R., Dev, M. 2021. Fluctuation in germination on exposure to salt stress in *Trifolium alexandrinum* L. in Cultivars. Journal of Mountain Research, 16(3), 49-56.
- Kuşçu, H. , Çayğaracı, A., Ndayizeye, J.D.D., 2018. Tuz stresinin bazı kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) çeşitlerinin çimlenme özellikleri üzerine etkisi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 32 (1), 89-99.
- Li, W., Zhang, H., Zeng, Y., Xiang, L., Lei, Z., Huang, Q., Li, T., Shen, F., Cheng, Q., 2020. A salt tolerance evaluation method for sunflower (*Helianthus annuus* L.) at the seed germination stage. Scientific Reports, 10 (1), 1-9.
- Mahesha, H. S., Keerthi, M. C., Manjunatha, N., Vinaykumar, H. D., Singh, T., Bhargavi, H. A., Yadav, V. K. 2022. Occurrence of collar rot on berseem (*Trifolium alexandrinum* L.) caused by *Sclerotium rolfsii* and its molecular characterization in India. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 55(1), 89-97.
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59, 651-681.
- Öner, F., Özkorkmaz, F., Yılmaz, N., 2018. Tuz stresi altında gibberellik asit uygulamalarının yulafta bazı çimlenme parametreleri üzerine etkisi. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 1(1), 33-35.
- Özyazıcı, G., Açıkbaz, S. 2021a. Çemen (*Trigonella foenum-graecum* L.) bitkisinin tuz stresi altında çimlenme özelliklerinin belirlenmesi, International Hazar Scientific Research Congress-II, 10-12 Nisan, s. 347-353, Bakü, Azerbaycan.
- Pathak, S., Malaviya, D.R., Roy, A.K., Dwivedi, K., Kaushal, P. 2015. Multifoliate leaf formation in induced tetraploids of *Trifolium alexandrinum* L. Cytologia, 80(1), 59-66.
- Praveen, B. R., Singh, M., Chethan, B. R. T., Kashyap, S., Reddy, M. B. 2022. Scientific berseem cultivation for fodder and seed production. Vigyan Varta, 3(7), 71-74.
- Roy, A.K., Agrawal, R.K., Bhardwaj, N.R., Mishra, A.K., Mahanta, S.K. 2019. Revisiting National Forage Demand and Availability, 1-21.
- Scott, S.J., Jones, R.A., Williams, W.A., 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Science, 24, 1192-1199.

- Wang, Y.R., Yu, L., Nan, Z.B., Liu, Y.L., 2004. Vigor tests used to rank seed lot quality and predict field emergence in four forage species. *Crop Sciences*, 44(2), 535-541.
- Williams, W.M., Verry, I.M., Ansari, H.A., Hussain, S.W., Ullah, I., Ellison, N.W., 2019. A Eurasia-wide polyploid species complex involving 6 x *Trifolium ambiguum* , 2 x *T . occidentale* and 4 x *T . repens* produces interspecific hybrids with significance for clover breeding, 1-12.
- Xu, G., Zhang, Y., Sun, J., Shao, H., 2016. Negative interactive effects between biochar and phosphorus fertilization on phosphorus availability and plant yield in saline sodic soil. *Science of The Total Environment*, 568, 910-915.
- Yadav, K. K., Lakra, A., Verma, S. K., Sharma, K. K. 2022. Induction of polyploidy to check the effect of polyploidization over the diploid wild ones in Berseem (*Trifolium alexandrinum* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 11(7), 373-380.

SALİSİLİK ASİT PRİMİNG UYGULAMALARININ SİNİR OTU (*Plantago ovata* L.) BİTKİSİNİN ÇİMLENME VE FİDE GELİŞİM PARAMETRELERİNE ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Semih AÇIKBAŞ

Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü
semihacikbas@siirt.edu.tr orcid.org/0000-0003-4384-3908

ÖZET

Bu çalışmada, sinir otu (*Plantago ovata* L.) tohumlarına salisilik (SA) ön uygulamasının bazı çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma; Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Laboratuvarı'nda, 25±1 °C'de kontrollü şartlar altında yürütülmüştür. Çalışmanın bitkisel materyalini Hindistan orijinli *P. ovata* genotipi oluşturmuştur. Laboratuvar çalışması, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekrarlamalı olarak petri kaplarında kurulmuştur. Çalışmada; salisilik asidin 0.25 mM (SA₁), 0.50 mM (SA₂), 1.0 mM (SA₃) ve 2.0 mM (SA₄) olmak üzere 4 farklı dozu ve salisilik asit uygulanmayan kontrol (K) ve saf su ile priming (hidropriming) uygulamaları araştırmanın konusunu teşkil etmiştir. Çalışmada, kurulduğu günden itibaren 24 saatte bir olacak şekilde çimlenen tohumlar sayılmış ve 7. günde sonlandırılmıştır. Çalışmada çimlenme parametrelerinden; çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi, çimlenme üniformite katsayısı, çimlenme indeksi ve çimlenme enerjisi ile fide parametrelerinden fide yaş ağırlığı ve fide güç indeksi özellikleri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, SA uygulamalarının incelenen çimlenme parametreleri üzerine anlamlı etkiler yaptığı görülmüştür. Tohum ön hazırlama ile SA uygulamasının *P.ovata* bitkisinde çimlenme üzerine olumlu etkiler yaptığı, kontrole göre çimlenme yüzdesini artırdığı ve ortalama çimlenme süresini azaltarak çimlenmeyi hızlandırdığı sonucuna varılmıştır. Salisilik asidin 0.25 mM dozu, tüm çimlenme ve fide gelişim parametrelerinde en etkili doz olduğu söylenebilir. Araştırma sonucunda, salisilik asidin özellikle 0.50 mM dozundan sonraki dozlarda sinir otu bitkisinin çimlenme ve fide gelişim parametrelerinde olumsuz etkiler yaptığını söylemek mümkündür.

Anahtar Kelimeler: *Plantago ovata* L. salisilik asit, çimlenme yüzdesi, fide güç indeksi

EFFECT OF SALICYLIC ACID PRIMING ON GERMINATION AND SEEDLING PARAMETERS OF PSYLLIUM (*Plantago ovata* L.)

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the effects of salicylic acid (SA) priming on the germination and seedling development of psyllium (*Plantago ovata* L.) seeds. The research was conducted at the Field Crops Laboratory of the Faculty of Agriculture, Siirt University, under controlled conditions at 25 ± 1 °C. The plant material of the study consisted of *P. ovata* genotype originating from India. The laboratory study was set up in Petri dishes with 4 replications according to randomized complete plots design. In the study, four different doses of salicylic acid, namely 0.25 mM (SA₁), 0.50 mM (SA₂), 1.0 mM (SA₃), and 2.0 mM (SA₄), as well as a control (C) without salicylic acid and priming with distilled water (hydropriming), constituted the subject of the research. In the study, seeds germinated every 24 hours from the day of establishment were counted, and the experiment was concluded on the 7th day. At the end of the research, seedling fresh weight was determined based on 10 randomly selected plants from each Petri dish. Germination parameters such as germination percentage, average germination time, germination uniformity coefficient, germination index, and germination energy, as well as seedling parameters such as seedling fresh weight and seedling vigor index, were investigated in the study. According to the research results, SA treatments had significant effects on the germination parameters examined. It was concluded that SA application, as a simple and cost-effective seed pre-treatment method, had positive effects on the germination of psyllium, increased the germination percentage compared to the control, and accelerated germination by reducing the mean germination time. It can be said that the 0.25 mM dose of salicylic acid is the most effective dose for all germination and seedling growth parameters. As a result of the research, it is possible to state that salicylic acid, especially at doses above 0.50 mM, has negative effects on the germination and seedling growth parameters of psyllium.

Keywords: *Plantago ovata* L., salicylic acid, germination percentage, seedling vigor index

1. GİRİŞ

Plantago cinsi dünya üzerinde ılıman bölgelere ve tropiklerdeki dağlarda yayılış göstermektedir (Heywood ve ark., 2007). *Plantago* cinsinin bazı taksonları ilaç ve gıda maddesi olarak kullanılmaktadır. *Plantago* türlerinin, tıbbi ve ekonomik kullanımları için de dünya genelinde yaygın olarak toplanmakta ve bu anlamda da birçok araştırmalara (Kartini ve ark., 2017; Eldesoky ve ark., 2018; Farcas ve ark., 2019) konu olmaktadır. Önemli bir sekonder metabolit kaynağı olan *Plantago ovata* apigenin ve kaempferol metabolitlerinin bitkinin tüm gelişim aşamalarında her yerde tespit edildiğini rapor etmişlerdir (Khan ve ark., 2021). Sınır otu bitkisinin; tohum, yaprak, çiçek ve kök gibi aksamalarında; flavonoidler, alkaloidler, terpenoidler, steroidler, tanenler, fenolik bileşikler, iridoid glikozitler, yağ asitleri,

polisakkaritler ve vitaminler dahil olmak üzere çeşitli biyoaktif bileşikler bulunmaktadır (Adom ve ark., 2017; Mondal ve ark., 2021).

Bitkisel hormonlar, bitkide çeşitli gelişim süreçlerini etkilemek amacıyla sinyal gönderen küçük yapılu bileşiklerdir (Costacurta ve Vanderleyden, 1995). Fitohormonların bitki bünyesinde bulunması, çimlenmeden olgunluğa kadar gelişen her süreçte kritik bir öneme sahiptir (Ceritoğlu ve ark., 2021). Hormonal priming tekniğinde tohumlar ön uygulama olarak farklı hormonların çeşitli konsantrasyonlarda hazırlanan solüsyonlarında bekletilir. Hormonal priming uygulaması, çimlenme sürecini kökçük çıkışı olmaksızın başlatırken, savunma sistemlerini aktive etmektedir (Sytar ve ark., 2019). Bitkisel hormonlardan birisi olan, salisilik asit; bitki büyümesini etkileyen, fizyolojik süreçleri düzenleyen, bitkinin biyotik strese karşı direncinde önemli rol oynamaktadır (Farhangi-Abri ve Ghassemi-Golezani, 2016; Dempsey ve Klessig, 2017). Salisilik asit; özellikle stoma düzenlemesinde (Morris ve ark., 2000; Barros ve ark., 2019), bitkilerde tohum çimlenmesinde (Shakirova ve ark., 2003; Kim ve Lee, 2013), bitki su stresi toleransı mekanizmasında (Ashraf ve Foolad, 2007), kök ve üst aksama etkide (Khodary, 2004; Stevens ve ark., 2006) ön plana çıkmaktadır. Ayrıca Chakma ve ark. (2021) salisilik asitin tohum ön uygulama materyali olarak kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Bu çalışmada, Sınır otu (*P. ovata* L.) tohumlarına salisilik asit ön tohum uygulamasının bazı çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Laboratuvarı'nda yürütülmüştür. Bitkisel materyal olarak Hindistan orijinli *P. ovata* L. genotipi kullanılmıştır.

Dört farklı salisilik asit dozu [0.25 mM (SA₁), 0.5 mM (SA₂), 1.0 mM (SA₃) ve 2.0 mM (SA₄)] ile ön uygulama yapılmayan kontrol ve hidropriming konuları araştırmada konu olarak ele alınmıştır. Çalışma, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Her tekerrür için 50 adet tohum kullanılmıştır. Tohumlar 1 dakika % 70 etil alkolde steril edildikten sonra 3 defa saf su ile durulanmıştır. Steril hale gelen tohumlar petri (90 mm x 15 mm) kaplarında bulunan iki katlı Whatman's filtre kâğıdının arasına yerleştirilmiştir. Dört farklı konsantrasyonda hazırlanan SA solüsyonları, her bir Petri kabına 5 ml olacak şekilde uygulanmış ve 24 saat süreyle bekletilmiştir. Her bir Petri kabına tohum/solüsyon oranı 2:1 g/ml olacak şekilde ayarlanmıştır (Johnson ve ark., 2005). Tohum ön uygulamaları sonrası tohumlar saf su ile tüm yüzey temizlenecek şekilde yıkanmış ve kurutma kağıdı içerisinde önce kabaca kurutulmuş; daha sonra tekrar kuru filtre kağıdı arasına alınarak başlangıç nemine kadar (% 3±) kurutulmuştur (Jatana ve ark., 2020).

Priming uygulanan tohumlar ile ön uygulama yapılmayan tohumlar yeni Petrilere yerleştirilmiş ve Petri kapları 25±1 °C sıcaklığa ayarlı etüvde çimlenmeye bırakılmıştır. Çalışmada, her gün aynı saatte çimlenen tohumlar sayılmıştır. Çalışmanın bittiği güne kadar 48 saatte bir (nemlilik durumuna göre) Petrilere tohumlara saf su ilave edilmiştir.

Deneme 7. günün sonunda her bir Petri kabındaki bitkilerden rastgele seçilen 10 bitki üzerinden fide yaş ağırlığı ölçümü yapılmıştır. Çalışmada, ayrıca; çimlenme yüzdesi, ortalama

çimlenme süresi, çimlenme üniformite katsayısı, çimlenme enerjisi, çimlenme indeksi ve fide güç indeksi özellikleri incelenmiştir.

Çimlenme yüzdesi parametresi, her 24 saatte bir çimlenen tohumlar sayılarak Scott ve ark. (1984)'nın kullandığı Eşitlik 1'e göre belirlenmiştir.

$$\text{Çimlenme yüzdesi} = (N\check{C}TS/TS) \times 100 \quad (1)$$

Eşitlikte $N\check{C}TS$, normal çimlenen tohum sayısını; TS , kullanılan toplam tohum sayısını ifade etmektedir.

Ortalama çimlenme süresi genel olarak tohumların çimlendiği günü belirlemede kullanılmakta olup, Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır (Ellis ve Roberts, 1981).

$$\text{Ortalama çimlenme süresi (OÇS)} = \sum(N_i T_i / N_i) \quad (2)$$

Burada N_i , T_i gününde çimlenen tohum sayısını; T_i , çimlenmenin başlangıcından itibaren geçen günlerin sayısını ifade etmektedir.

Çimlenme indeksi Eşitlik 3 (Wang ve ark., 2004), çimlenme üniformite katsayısı Eşitlik 4 (Bewely ve Black, 1994), çimlenme enerjisi Eşitlik 5 (Li ve ark., 2020) ve fide güç indeksi Eşitlik 6 (Kalsa ve Abebie, 2012) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Çimlenme indeksi} = \sum(G_i / T_i) \quad (3)$$

Eşitlikte G_i , i . gündeki çimlenme oranı ve T_i , çimlenme süresinin günleridir.

$$\text{Çimlenme üniformite katsayısı} = \sum n / \sum[(O\check{C}S-t)^2 n] \quad (4)$$

Eşitlikte t , ekim günü olan 0. günden başlayarak gün cinsinden süreyi; n , t gününde çimlenmeyi tamamlayan tohum sayısını ifade etmektedir.

$$\text{Çimlenme enerjisi} = (T_1/N) \times 100 \quad (5)$$

Eşitlikte T_1 , birinci günde çimlenen tohum sayısını; N , toplam tohum sayısını ifade etmektedir.

$$\text{Fide güç indeksi} = \text{Çimlenme oranı} \times \text{fide yaş ağırlık (g)} \quad (6)$$

Elde edilen veriler, tesadüf parselleri deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuş, F testi sonuçlarına göre gruplar arasındaki farklılıklar TUKEY çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir (Açıkgöz ve Açıkgöz, 2001).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sinir otu tohumlarına farklı konsantrasyonlarda salisilik asit priming uygulamaları sonucunda elde edilen çimlenme ve fide gelişim özelliklerine ait veriler Çizelge 1'de verilmiştir. Araştırmada incelenen tüm çimlenme ve fide gelişim özellikleri yönünden uygulamalar arasında anlamlı ($p < 0.01$) farklılıklar bulunmuştur (Çizelge 1).

Çimlenme yüzdesi incelendiğinde, en yüksek değer SA_1 uygulamasında (% 96.0) tespit edilmiştir. En düşük çimlenme yüzdesi salisilik asit priming uygulaması en fazla olduğu SA_4 dozunda (% 4.0) belirlenmiştir. Kontrole göre çimlenme yüzdesi SA_1 uygulamasında en iyi

değerlere ulaşırken artan salisilik asit konsantrasyonlarında anlamlı azalmalar meydana gelmiştir. Özellikle SA₃ ve SA₄ uygulamalarında toksik etki meydana getirmiş, buna bağlı olarak da çimlenme yüzdesini düşürmüştür (Çizelge 1).

Çizelge 1. Sinir otu tohumlarının çimlenme ve fide gelişim özelliklerine salisilik asit priming uygulamalarının etkisi*

İncelenen parametreler	Salisilik asit (SA) dozları						Önemlilik düzeyi
	K	HP	SA ₁	SA ₂	SA ₃	SA ₄	
Çimlenme yüzdesi (%)	79.3 d	90.7 b	96.0 a	84.7 c	9.3 e	4.0 f	0.0001
Ortalama çimlenme süresi (gün)	2.6 bc	1.13 c	1.03 c	1.03 c	3.1 ab	4.7 a	0.0002
Çimlenme üniformite katsayısı	31.4 b	80.8 a	89.9 a	79.8 a	3.1 c	0.9 c	0.0001
Çimlenme enerjisi	7.3 c	81.3 b	90.0 a	80.7 b	2.0 c	0.7 c	0.0001
Çimlenme indeksi	18.1 b	42.8 a	46.4 a	41.2 a	2.1 c	0.7 c	0.0001
Fide yaş ağırlığı (mg)	16.7 b	18.7 b	25.0 a	18.9 b	3.0 c	0.7 c	0.0001
Fide güç indeksi	1.32 c	1.70 b	2.40 a	1.60 bc	0.03 d	0.01 d	0.0001

*: Aynı satırda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistiksel açıdan önemli değildir, K: Kontrol, HP: Hidropriming, SA₁: 0.25 mM, SA₂: 0.5 mM, SA₃: 1.0 mM, SA₄: 2.0 mM salisilik asit dozu

Ortalama çimlenme süresi yönünden baktığımızda, salisilik asit SA₁ ve SA₂ uygulamaları ile hidropriming uygulamalarının kontrole göre çimlenmeleri istatistiksel olarak anlamlı olacak şekilde hızlandırdığı görülmektedir. En geç çimlenen uygulama ise SA₄ dozunda 4.7 gün ile gerçekleşmiştir. Hiçbir uygulamanın yapılmadığı kontrol grubunda ise ortalama çimlenme süresi 2.6 gün olarak belirlenmiştir. Salisilik asit dozları (SA₁ ve SA₂) ve hidropriming uygulaması Sinir otu tohumlarının çimlenmelerine olumlu etkiler yaptığı belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çimlenme parametrelerinden çimlenme üniformite katsayısı ve çimlenme indeksi özellikleri değerlendirildiğinde en yüksek değerler salisilik asit SA₁ ve SA₂ uygulamaları ile Hidropriming uygulamasında tespit edilmiştir. En düşük çimlenme üniformite katsayısı ve çimlenme indeksi değerleri SA₃ ve SA₄ uygulamalarında elde edilmiştir. Çimlenme enerjisi incelendiğinde, en yüksek değer SA₁ uygulamasında 90.0 olarak belirlenirken, en düşük değer ise 0.7 ile SA₄ uygulamasında saptanmıştır.

Fide yaş ağırlığı ve fide güç indeksi yönünden en yüksek değerler kontrol grubunda sırasıyla 241.8 mg ve 17.7 olarak belirlenirken, kontrol grubuyla hidropriming ve 0.50 mM SA uygulaması istatistiksel olarak farklılık bulunmamıştır. En düşük değerler fide yaş ağırlığında 2.00 SA uygulamasında belirlenirken, fide güç indeksinde ise 1.00 ve 2.00 mM SA uygulamalarında tespit edilmiştir (Tablo 1).

Salisilik asit priming uygulamaları ile yapılan çok sayıdaki çalışmalarda kontrole göre; çimlenme yüzdesini (Shakirova ve ark., 2003; Afzal ve ark., 2006; Farooq ve ark., 2008; Ghafoor ve ark., 2020; Doğan ve ark., 2021), çimlenme üniformite kat sayısını (Ceritoğlu ve Erman, 2020; Özyazıcı ve ark., 2023), çimlenme enerjisini ve indeksini (Hameed ve ark., 2013; Anaya ve ark., 2018; Doğan ve ark., 2021; Moghaddam ve ark., 2021), fide yaş ağırlığını (Basra ve ark., 2006; Özkorkmaz ve Öner, 2022), fide güç indeksini artırdığını (Özyazıcı ve ark., 2023) ve ortalama çimlenme süresini (Basra ve ark., 2006; Özkorkmaz ve Öner, 2022) hızlandırdığı rapor edilmiştir. Salisilik asit priming uygulamaları ile elde edilen bu olumlu sonuçlar, salisilik

asidin su alımını, besin emilimini, stoma iletkenliğini, hücre solunumunu etkilemesi (Saberri ve ark., 2011) ile açıklanabilir.

Bazı salisilik asit priming çalışmalarında ise, çalışmada elde edilen sonuçlara benzer olarak, Meryem ana dikenli bitkisinde salisilik asit uygulamalarının çimlenme yüzdesi, çimlenme indeksi ve çimlenme enerjisi değerlerini düşürdüğü (Özyazıcı, 2021), Burçak bitkisi ile yapılan çalışmada, salisilik asit uygulamalarının özellikle salisilik asitin 1 ve 2 mM dozlarının burçak bitkisinin çimlenme ve fide gelişim parametrelerinde olumsuz etkiler yaptığı (Açıkbaş ve Özyazıcı, 2022), mısır çeşitlerinde ise salisilik asit dozunun artışına paralel olarak bazı çimlenme ve fide gelişim parametrelerinin azaldığı (Arslan ve Gökkaya, 2023) rapor edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Araştırma sonuçlarına göre, priming yapılmayan tohumlarla karşılaştırıldığında çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi, çimlenme indeksi, çimlenme üniformite katsayısı, fide kuru ağırlığı ve fide güç indeksinde belirgin bir artış ve/veya iyileşmeler görülmüştür. İstatistiksel yorumlar neticesinde salisilik asidin 0.25 mM dozu, tüm çimlenme ve fide gelişim parametrelerinde en etkili doz olduğu söylenebilir. Araştırma sonucunda, salisilik asidin özellikle 0.50 mM dozundan sonraki dozlarda sinir otu bitkisinin çimlenme ve fide gelişim parametrelerinde olumsuz etkiler yaptığını söylemek mümkündür.

KAYNAKÇA

- Açıkbaş, S., Özyazıcı, M. A., 2022. Salisilik asit tohum ön uygulama işleminin burçak (*Vicia ervilia* L.) bitkisinin çimlenme ve fide gelişimi etkisi. Anadolu 11th International Conference on Applied Sciences, Diyarbakır, Türkiye.
- Açıkgöz, N., ve Açıkgöz, N., 2001. Tarımsal araştırmaların istatistiki değerlendirilmesinde yapılan bazı hatalar: I. Tek faktörlü denemeler. Anadolu, 11(1), 135-147.
- Adom, M. B., Taher, M., Mutalabisin, M. F., Amri, M. S., Kudos, M. B. A., Sulaiman, M. W. A. W., Sengupta, P., Susanti, D., 2017. Chemical constituents and medical benefits of *Plantago major*. Biomedicine & Pharmacotherapy, 96, 348-360.
- Afzal, I., Basra, S.M., Farooq, M., Nawaz, A., 2006. Alleviation of salinity stress in spring wheat by hormonal priming with ABA, salicylic acid and ascorbic acid. International Journal Of Agriculture & Biology, 8 (1), 23-28.
- Anaya, F., Fghire, R., Wahbi, S., Loutfi, K., 2018. Influence of salicylic acid on seed germination of *Vicia Faba* L. under salt stress. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 17 (1), 1-8.
- Arslan, M., ve Gökkaya, T. H., 2023. Exogenous salicylic acid application during germination of silage maize (*Zea mays* L.) exposed to PEG-induced drought condition. Turkish Journal of Range and Forage Science, 4(1), 43-52.

- Ashraf, M., Foolad, M.R., 2007. Roles of Glycine Betaine and Proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 206-216.
- Basra, S.M.A., Farooq, M., Wahid, A., Khan, M. B., 2006. Rice seed invigoration by hormonal and vitamin priming. *Seed Science and Technology*, 34(3), 775-780.
- Bewely, J., Black, M., 1994. *Seeds: Physiology of Development and Germination*. New York.
- Ceritoğlu, M., Erman, M., 2020. Mitigation of salinity stress on chickpea germination by salicylic acid priming. *International Journal of Agriculture and Wildlife Science*, 6 (3), 582-591.
- Chakma, R., Biswas, A., Saekong, P., Ullah, H., Datta, A., 2021. foliar application and seed priming of salicylic acid affect growth, fruit yield, and quality of grape tomato under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 280, 109904.
- Costacurta, A., Vanderleyden, J., 1995. Synthesis of phytohormones by plant-associated bacteria. *Critical Reviews in Microbiology*, 21(1), 1-18.
- Dempsey, D.A., Klessig, D.F., 2017. How does the multifaceted plant hormone salicylic acid combat disease in plants and are similar mechanisms utilized in humans? *BMC Biology*, 15, 23.
- Doğan, M., Tura, A., Odabaşoğlu, C., Sedetaltun, Y., ve Odabaşoğlu, M. İ., 2021. Salisilik asitin soya (*Glycine max.* (L.) Merr.) tohumlarının çimlenme ve gelişimine etkisi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 33(2), 115-124.
- Eldesoky, A.H., Abdel-Rahman, R.F., Ahmed, O.K., Soliman, G.A., Saeedan, A.S., Elzorba, H.Y., Elansary, A.A., Hattori, M., 2018. Antioxidant and hepatoprotective potential of *Plantago major* growing in Egypt and its major phenylethanoid glycoside, acteoside. *Journal of Food Biochemistry*, 42, e12567.
- Ellis, R.H., Roberts, E.H., 1981. The Quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, 9, 373-409.
- Farcas, A.D., Mot, A.C., Pârvu, A.E., Toma, V.A., Popa, M.A., Mihai, M.C., Sevastre, B., Roman, L., Vlase, L., Pârvu, M., 2019. *In vivo* pharmacological and anti-inflammatory evaluation of xerophyte *Plantago sempervirens* Crantz. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 5049643.
- Farhangi-Abriz, S., Ghassemi-Golezani, K., 2016. Improving amino acid composition of soybean under salt stress by salicylic acid and jasmonic acid. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89, 243-248.
- Farooq, M., Aziz, T., Basra, S.M.A., Cheema, M.A., Rehman, H., 2008. Chilling tolerance in hybrid maize induced by seed priming with salicylic acid. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194 (2), 161-168.
- Ghafoor, M.F., Ali, Q., Malik, A., 2020. Effects of salicylic acid priming for salt stress tolerance in wheat. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*, 1, e024-e024.

- Hameed, A., Sheikh, M.A., Jamil, A., Basra, S.M.A., 2013. Seed priming with sodium silicate enhances seed germination and seedling growth in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit stress induced by polyethylene glycol. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 11 (1), 19-24.
- Heywood, V. H., Brummitt, R. K., Culham, A., Seberg, O., 2007, Flowering plant families of the world, Royal Botanical Gardens, Kew, 978-1- 84246-165-5.
- Jatana, B.S., Ram, H., Gupta, N., 2020. Application of seed and foliar priming strategies to improve the growth and productivity of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Research Communications*, 48, 383-390.
- Johnson, S.E., Lauren, J.G., Welch, R.M., Duxbury, J.M., 2005. A Comparison of the effects of micronutrient seed priming and soil fertilization on the mineral nutrition of chickpea (*Cicer arietinum*), lentil (*Lens culinaris*), rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*) in Nepal. *Experimental Agriculture*, 4, 427-448.
- Kalsa, K. K., Abebie, B., 2012. Influence of seed priming on seed germination and vigor traits of *Vicia villosa* ssp, *dasycarpa* (Ten.). *African Journal of Agricultural Research*, 7(21), 3202-3208.
- Kartini, S.P., Thongpraditchote, S., Siripong, P., Vallisuta, O., 2017. Effects of *Plantago major* extracts and its chemical compounds on proliferation of cancer cells and cytokines production of lipopolysaccharide-activated THP-1 macrophages. *Pharmacognosy Magazine*, 13, 393-399.
- Khan, A. W., Khalid, W., Safdar, S., Usman, M., Shakeel, M. A., Jamal, N., Jha, RP., Baig, M., Shehzadi, S., Khalid, MZ., Shahid, M. K. 2021. Nutritional and therapeutic benefits of Psyllium Husk (*Plantago ovata*). *Acta Scientific Microbiology*, 4(3), 43-50.
- Kim, Y.H., Lee, I.J., 2013. Influence of plant growth regulator application on seed germination of dandelion (*Taraxacum officinale*). *Weed & Turfgrass Science*, 2 (2), 152-158.
- Khodary, S.E.A., 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. *International Journal of Agriculture & Biology*, 6 (1), 5-8.
- Li, W., Zhang, H., Zeng, Y., Xiang, L., Lei, Z., Huang, Q., Li, T., Shen, F., Cheng, Q., 2020. A salt tolerance evaluation method for sunflower (*Helianthus annuus* L.) at the seed germination stage. *Scientific Reports*, 10 (1), 1-9.
- Moghaddam, S.S., Pourakbar, L., Rahimi, A., Jangjoo, F., 2021. mitigation of salinity effects by salicylic acid priming on germination and physiological characteristics of bitter vetch (*Vicia ervilia* L.). *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Science*, 31 (1), 98-110.
- Mondal, R., Negi, A., Mishra, M., 2021. *Plantago major* L. a cynosure of modern medicine: a review. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 10(12), 650-675.

- Morris, K., MacKerness, S.A., Page, T., John, C.F., Murphy, A.M., Carr, J.P., Buchanan-Wollaston, V., 2000. Salicylic acid has a role in regulating gene expression during leaf senescence. *The Plant Journal*, 23, 677-685.
- Özkorkmaz, F., Öner, F., 2022. Salisilik asit uygulamalarının tuz stresi altındaki arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşitlerinde çimlenme ve tohum özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12(2), 119-134.
- Özyazıcı, G., 2021. Effects of salicylic acid applications on salt stress in milk thistle (*Silybum marianum* L.). 3rd International Cukurova Agriculture and Veterinary Congress, Adana, Turkey.
- Özyazıcı, G., Açıkbash, S., Özyazıcı, M. A., 2023. Effects of salicylic acid priming application in some switchgrass (*Panicum virgatum* L.) cultivars. *International Journal of Nature and Life Sciences*, 7 (2), 137-146.
- Saberi, M., Shahriari, A., Tarnian, F., Jafari, M., ve Safari, H., 2011. Influence of some chemical compounds on germination and early seedling growth of two range species under allelopathic conditions. *Frontiers of Agriculture in China*, 5, 310-321.
- Scott, S.J., Jones, R.A., Williams, W.A., 1984. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*, 24, 1192-1199.
- Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fatkhutdinova, R.A., Fatkhutdinova, D.R., 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*, 164 (3), 317-322.
- Stevens, J., Senaratna, T., Sivasithamparam, K., 2006. Salicylic acid induces salinity tolerance in tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Roma): associated changes in gas exchange, water relations and membrane stabilization. *Plant Growth Regulation*, 49 (1), 77-83.
- Sytar, O., Kumari, P., Yadav, S., Brestic, M., Rastogi, A., 2019. Phytohor-mone priming: Regulator for heavy metal stress in plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38, 739-752.
- Wang, Y.R., Yu, L., Nan, Z.B., Liu, Y.L., 2004. Vigor tests used to rank seed lot quality and predict field emergence in four forage species. *Crop Sciences*, 44 (2), 535-541.

MEYVE VE SEBZELERDE ÜŞÜME ZARARI İLE KALSİYUM İLİŞKİSİ

Prof.Dr.Rezzan KASIM⁵

Kocaeli Üniversitesi
Ziraat Fakültesi
Bahçe Bitkileri Bölümü
rkasim@kocaeli.edu.tr- 0000-0002-2279-4767

Prof.Dr.M.Ufuk KASIM

Kocaeli Üniversitesi
Ziraat Fakültesi
Bahçe Bitkileri Bölümü
mukasim@kocaeli.edu.tr- 0000-0003-2976-7320

ÖZET

Meyve ve sebzelerde hasat sonrası kalitenin korunması için solunum hızının düşürülmesi gereklidir. Solunum hızı ise en etkili şekilde düşük sıcaklıkta muhafaza ile düşürülebilmektedir. Düşük sıcaklıklar ürünlerin solunum hızını düşürürken aynı zamanda renk, lezzet ve dokusal kalite ile ağırlık kayıplarını azaltarak, yaşlanmayı geciktirmektedir. Bununla birlikte özellikle tropik ve subtropik kökenli meyve ve sebzelerin kritik eşik sıcaklığın altında depolanması, bu ürünlerde üşüme zararı olarak adlandırılan fizyolojik bozukluğa yol açmaktadır. Bu nedenle bu ürünlerde düşük sıcaklıkta ürünün fizikokimyasal ve duyuşsal özelliklerini azaltmadan ve üşüme zararı belirtilerini azaltmak için alternatif yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birisi ise hasat sonrası kalsiyum uygulamalarıdır. Kalsiyum bitki hücre fizyolojisinde önemli bir hücre içi haberci olup, hormonlara, biyotik ve abiyotik strese karşı hücrelerin sinyal iletiminde rol oynamaktadır. Bunlara ek olarak kalsiyum hücre çeperinin orta lamelinde bulunan poligalakturanat zincirlerindeki çapraz bağlı serbest karboksil gruplarının adhezyon ve kohezyonunu sağlayarak hücre çeperinin yapısı sağlamlaştırmakta ve hücreyi üşüme zararı gibi hücre çeperinde zarar oluşturan bozukluklara karşı korumaktadır. Kalsiyum uygulamasının biberlerde üşüme zararını etkili bir şekilde azalttığı ve kalitesini koruduğu, kayısı meyvelerinde meyvenin kalsiyum konsantrasyonunu arttırdığı, etilen üretimini azalttığı ve üşüme zararı insidansını azalttığı belirlenmiştir. Kalsiyum uygulamaları nar ve muzda da üşüme zararını belirtilerini etkili bir şekilde azaltmıştır. Bu derleme çalışma ile üşüme zararının azaltılmasında kalsiyum uygulamalarının etkinliği ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kalsiyum, kalite, depolama, raf ömrü.

⁵ Sorumlu yazar

1. GİRİŞ

Düşük sıcaklıkta depolama, sebze ve süs bitkilerinde yaşlanmayı ve meyvelerde ise olgunlaşmayı geciktirerek hasat sonrası kalitelerini yükseltmek amacıyla yaygın olarak kullanılan hasat sonrası uygulamadır. Buna karşın subtropik ve tropik ürünlerin soğuk depolaması, bu ürünlerin kalitelerini olumsuz etkileyen ve ürünü satılmaz hale getiren bir dizi fizyolojik değişikliğe neden olmaktadır (Aghdam ve Bodbodak, 2014). Üşüme zararı (ÜZ) olarak adlandırılan bu değişiklik subtropik veya tropik kökenli meyve ve sebzelerin donma noktası üzerindeki ancak kritik eşik sıcaklıkların altındaki sıcaklıklara maruz kalması sonucu oluşan bir fizyolojik bozukluktur (Carvajal vd., 2015). Genel olarak subtropik meyveler 5-8°C sıcaklıklarda ÜZ belirtileri gösterirken, tropik meyveler 12°C'nin altındaki sıcaklıklarda zarar görmektedir. ÜZ donma noktasının üzerindeki sıcaklıklarda hassas bitki organlarının fizyolojik olarak zararlanması olduğu için donma zararından farklıdır (Wu vd., 2024). Meyve ve sebzelerin ÜZ belirtileri türe, çeşide ve yetiştirme ortamına bağlı olarak değişmektedir (Zhang vd., 2021). Şeftali, muz, mango, turunçgiller, kabak, hıyar ve domates gibi meyve ve sebzeler ÜZ'ye duyarlı türler olup bu türlerin düşük sıcaklıkta depolanması çukurlaşma, kararma, yumuşama ve hatta çürüme gibi ÜZ belirtilerinin ortaya çıkmasına neden olur. Bu da bu ürünlerin kalitesini azalttığı için, pazar değerini düşürmekte ve ekonomik kayıplara yol açar (Albornoz vd., 2022).

Üşüme zararının azaltılması ve duyarlı türlerin soğuğa dayanımlarını arttırmak için (i) termal uygulamalar, (ii) kimyasal uygulamalar ve (iii) hücresel ve genetik mühendislik uygulamaları kullanılmaktadır (Lukatkin vd., 2012). Kimyasal uygulamalar arasında yer alan kalsiyum uygulamaları meyve ve sebzelerde hücre çeperini kuvvetlendirmek suretiyle ÜZ'na duyarlılığı azaltabilmektedir. Kalsiyum apoplasta kolayca giren ve hücre çeperi ve plazma zarının dış yüzeyine değiştirilebilir formda bağlanan iki değerli bir katyondur. Bunun yanı sıra kalsiyum hücre çeperindeki pektik asitle birleşerek kalsiyum pektat oluşturmak suretiyle hücre çeperinin yapısını korur (Mirdehghan ve Ghotbi, 2014). Yine kalsiyum negatif yüklü homogalakturon çiftleri arasında çapraz bağlar oluşturarak hücre çeperini sıkılaştırırken aynı zamanda zar bileşenlerinden fosfolipitlere bağlanarak hücrenin zar bütünlüğünü de korur. Hücre zarındaki fosfolipid-D (FLD) aktivitesi sitozolik Ca^{+2} konsantrasyonu ile düzenlenmekte ve üşüme sıcaklıkları ve/veya etilen hormonu gibi çevresel streslere tepki sonucu sitozolik Ca^{+2} 'nin artması FLD'nin aktivasyonuna yol açmakta ve böylece ÜZ'ye dayanım artırılmaktadır (Aghdam ve Bodbodak, 2014).

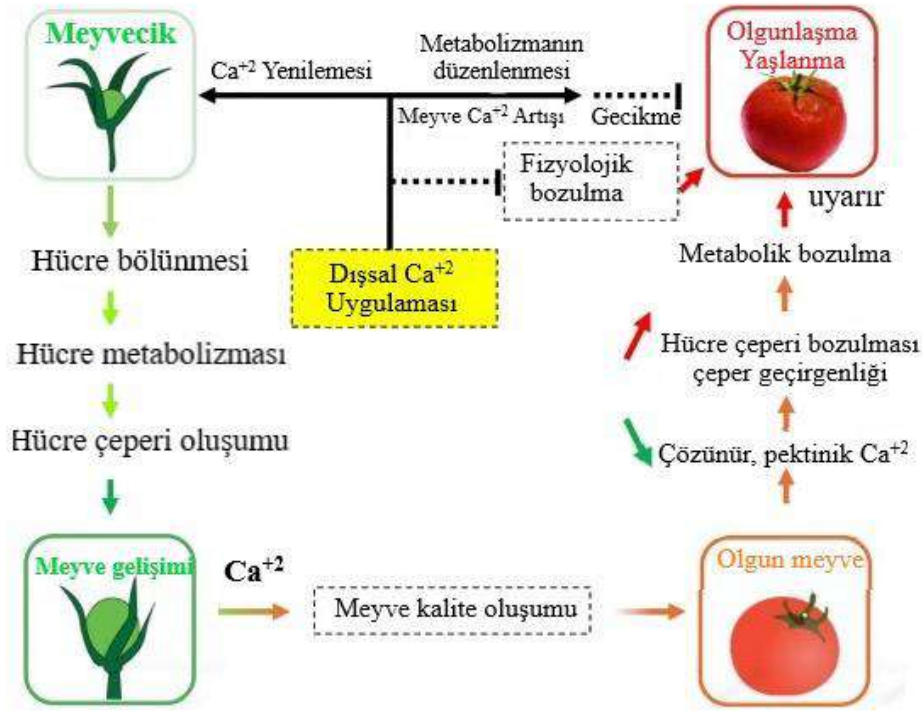
Hasat sonrası kalsiyum (Ca^{+2}) uygulamaları meyve ve sebzelerde doku zar bütünlüğünü, meyve eti sertliğini ve hücre turgorunu arttırmaktadır. Kalsiyum hücre zarı lipid katabolizmasını geciktirmekte ve fizyolojik bozuklukları azaltmaktadır. Ca^{+2} uygulamaları değişik meyve türlerinde ÜZ belirtilerini azaltmakta ve hafifletmektedir (Elbagoury vd., 2020). 'Malas Yazdı' ve 'Malas Ashkezar' nar çeşitleri meyveleri %1 ve %2 $CaCl_2$ 'ye 5 dakika daldırıldıktan sonra $1,5\pm 0,5^{\circ}C$ sıcaklık ve 85 ± 5 oransal nemde iki ay depolanmıştır. 21 gün aralıklarla soğuk depodan çıkarılan ve $20^{\circ}C$ sıcaklıkta bekletilen nar meyvelerinde kalsiyum uygulamaları ÜZ'nı önemli oranda azaltmıştır (Mirdehghan ve Ghotbi, 2014). Muz çeşidi 'Grand Nain' e 1 mM

metil jasmonat ve %4 (ağırlık/hacim) kalsiyum klorür uygulaması, $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ ya da $14 \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 20 gün süreyle depolanma süresince 5'er gün aralıklarla depodan çıkarılan ve $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de olgunlaştırılan muzlarda ÜZ belirtilerini hem soğuk depolama hem de depolama sonrası olgunlaştırma sırasında önemli oranda azaltmıştır (Elbagoury vd., 2020). %4,5 CaCl_2 uygulanmış domateslerin 28 ve 42 günlük depolanması süresince ÜZ belirtileri oldukça azalmış ve sırasıyla %0,66 ve %1,20 oranında ortaya çıkmıştır (Dolhaji vd., 2024). Bu derleme çalışmada, hasat sonrası kalsiyum uygulamalarının duyarlı ürünlerde ÜZ'ye azaltmadaki etkinliği ile ÜZ ile kalsiyum ilişkisi ortaya konmuştur.

2. KALSİYUMUN ÜŞÜME ZARARINI AZALTMADAKİ ETKİSİ

2.1. Meyvenin Kalsiyum Miktarının Arttırılması, Olgunlaşmanın Geciktirilmesi

Meyve gelişimin erken dönemlerinde kalsiyum absorpsiyonu özellikle genişlemenin başlangıcında hücre bölünmesi ve metabolizmasında rol oynamaktadır. Meyve gelişimin daha geç aşamalarında kalsiyum alınımı hücre-hücre birleşiminde etkili iken meyve olgunlaşma döneminde ise kalsiyum fiziksel ve biyokimyasal mekanizmaların düzenlenmesinde önemli bir role sahiptir (Görsel 1). Kalsiyum uygulamaları meyve yaşlanmasını geciktirerek meyve kalitesini korumaktadır. Meyvedeki kalsiyum konsantrasyonunun artması, meyvenin solunum hızını, etilen üretimini ve olgunlaşmasını geciktirmekte, bu da fizyolojik bozulmaları azaltmaktadır (Gao vd., 2019). *Prunus armeniaca* L. 'Bagheri' ve 'Asgarabadi' meyvelerine %1 ve %3 CaCl_2 veya kalsiyum propiyonat uygulaması 1°C 'de %90 ON'de 21 gün depolanan meyvelerin kalsiyum konsantrasyonunun arttırmış ve etilen üretimi ile birlikte yumuşamayı ve renk değişimlerini yavaşlatmıştır. PME aktivitesi ve suda çözünür pektin miktarı depolama süresince azalırken, çözünmez pektin miktarı artmıştır. Daha yüksek kalsiyum konsantrasyonu ÜZ insidansını azaltmış ve meyvelerin olgunlaşmasını önlemiştir (Koushesh Saba vd., 2016).



Görsel 1. Meyve gelişmesi ve olgunlaşmasında kalsiyumun rolü (Gao vd., 2019).

'Hass' avokado meyvelerine %0,3 ve 0,5 düzeyinde $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ uygulaması, meyve ekzokarpındaki kalsiyum miktarını %0,085 ve mezokarpındaki ise %0,3 ve 0,5 uygulamaları için sırasıyla %0,081 ve %0,084 oranlarında arttırarak, üşüme zararını azaltmıştır (Barrientos-Priego vd., 2016).

2.2. Farklı Olgunluktaki Meyvelerde ÜZ Belirtilerinin Geciktirilmesi

Meyvelerin ÜZ'ye karşı duyarlılığı olgunlaşma aşamalarına göre değişmekte olup olgunlaşmamış meyveler ÜZ'ye karşı daha duyarlı iken olgun meyvelerde duyarlılık azalmakta ve bu meyveler düşük sıcaklıkta depolandığında ÜZ belirtileri azalmaktadır. Muz klimakterik bir meyve türü olup, kabuğunun yeşil olduğu hasat olumunda hasat edilmekte ve etilen uygulanarak olgunlaştırılmaktadır. Diğer tropik ve subtropik meyvelerde olduğu gibi muzun da muhafaza süresi düşük sıcaklıkta depolama ile artmaktadır. Ancak muz da düşük sıcaklıklarda ÜZ'ye duyarlıdır ve kabuk kararması, meyve eti sertliği ve çukurlaşma gibi ÜZ belirtileri göstermektedir. Hasat olumunda (yeşil) ve yeme olumundaki (sarı) muzlara %2 CaCl_2 uygulaması 6 °C'de depolama süresince her iki olgunluk aşamasındaki meyvelerde de elektrolit sızıntısı, MDA miktarı ve polifenol (PPO) aktivitesini düşürerek ÜZ belirtilerini azaltmıştır (Jiao vd., 2017).

2.3. Hücre Çeperinin Kuvvetlendirilmesi

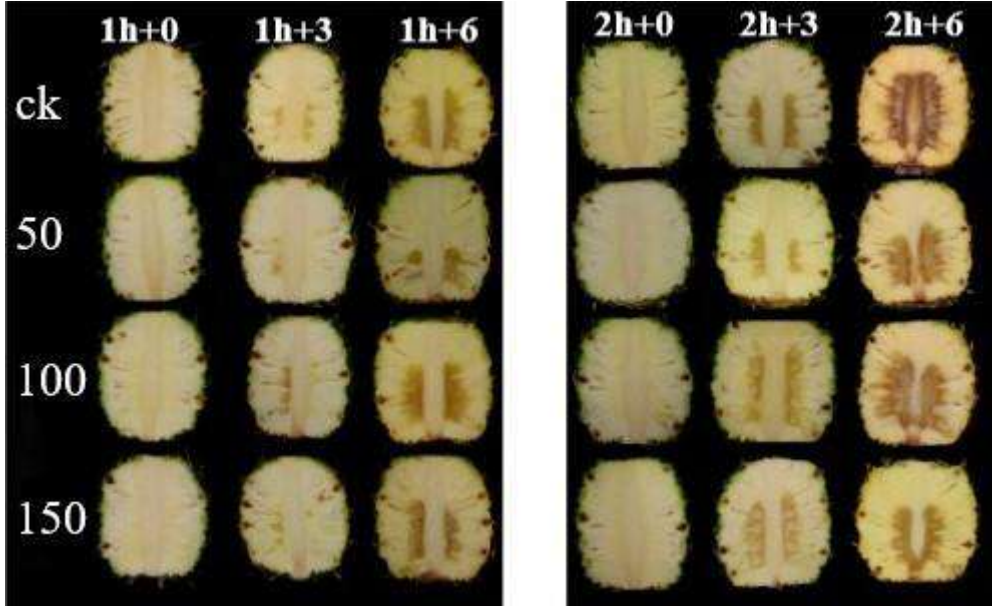
Üşüme zararı sonucu zarar fiziksel özelliklerinde geri döndürülemez değişiklikler oluşarak, hücrenin fizyolojik, metabolik ve biyokimyasal işlevi bozulmaktadır. Bunun sonucu zarla ilişkili enzimlerin aktivitesinde ve zar geçirgenliğinde değişiklikler oluşmakta, ATP seviyeleri

ve iyon çıkışı azalmakta, hücre bölümlendirilmesi kaybolmakta ve metabolik denge bozulmaktadır. Meyvede yeterli düzeyde kalsiyum bulunması, hücre dışı sinyallerin hücre içindeki biyokimyasal reaksiyonlara aktarımını etkilemekte ve dolayısıyla hücre zar bütünlüğü ve hücre çeperi yapı ve işlevini korumaya yardımcı olmaktadır (Barrientos-Priego vd., 2016).

Üşümeye duyarlı ürünlerde soğuk depolama süresince hücre zar bütünlüğünün korunması gereklidir. Soğuk stresi süresince hücre zarlarının yapısı esnek sıvı kristalden katı jel haline dönüşerek, zarın zarar görmesine neden olmakta ve zardan çözünen maddeler sızmaktadır. Aynı zamanda soğuk stresine maruz kalan ürünlerde hücrede malondialdehit (MDA) miktarı artmaktadır. Dolayısıyla üşümeye duyarlı türlerde soğuk depolama süresince elektrolit sızıntısı ve MDA miktarının ölçülmesi, ÜZ hakkında bilgi vermektedir. Düşük sıcaklığa duyarlı hünnap meyvelerine %4 CaCl₂ uygulaması elektrolit sızıntısını ve MDA miktarını azaltmış, bu da kalsiyum uygulamasının hücre zar bütünlüğünün korunmasında önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir (Wei ve Zhao, 2020).

2.4. Antioksidan Kapasitenin Arttırılması

Üşüme zararına duyarlı meyvelerde soğukta depolama yalnızca hücre zar bütünlüğünü olumsuz etkilemekle kalmaz aynı zamanda antioksidan enzimlerin aktivitesinde azalmaya neden olur çünkü düşük sıcaklık aynı zamanda bir oksidatif stres çeşididir. Oksidatif stres genellikle süper oksit ve hidrojen peroksit gibi reaktif oksijen türleri (ROS) tarafından oluşturulur ve üşüme zararı sürecini hızlandırır. POD, SOD ve CAT gibi antioksidan enzimler ROS'u parçalamada ve ÜZ'yi azaltmada önemli rol oynayabilir. Soğukta depolama başlangıcında 2 saat aralıklarla 3 kez %4 CaCl₂ uygulanmış Hünnap (jujube) meyvelerinin 100 gün süreyle depolanması süresince antioksidan enzimlerinin (SOD, CAT ve POD) aktivitesinin önemli oranda arttığı ve üşüme zararını azalttığı bulunmuştur (Wei ve Zhao, 2020). Düşük sıcaklıkta depolanan ananas meyveleri ortam sıcaklığına alındığında, içsel kararırma şeklinde ortaya çıkan üşüme zararı belirtisi göstermektedir. Ananas meyvelerine 50 µM CaCl₂ uygulaması, 6 °C'de depolandıktan sonra oda sıcaklığına alınan meyvelerde ROS miktarı azaltmak ve meyvelerin antioksidan kapasitesi arttırmak suretiyle içsel kararırma miktarını azaltmıştır (Görsel 2, Zhang vd., 2022).



Görsel 1. CaCl_2 (50, 100, 150 $\mu\text{mol/L}$) uygulandıktan sonra 6 °C’de 1 ve 2 hafta depolandıktan sonra oda sıcaklığında 3 ve 6 gün bekletilen ananas meyvelerde içsel kararmanın görünümü. Ck=kontrol (Zhang vd., 2022)

Polifenoller, bitkilerdeki en büyük sekonder metabolit sınıfı olup yapılarına göre fenolik asitler, flavonoidler, stilbenler ve ligninler olarak sınıflandırılmaktadır (Şamec vd., 2021, Zagoskina vd., 2023). Abiyotik stres altındaki bitkilerde polifenol biyosentezi artarak bitkilerin bu olumsuz şartlara uyumunu arttırmaktadır. Aynı zamanda yüksek polifenol aktivitesi gösteren ürünlerin ROS süpürme kapasitesi gibi antioksidan özellikleri de yüksektir ve böylece bitki hücreleri üşüme zararı gibi oksidatif stres zararından korunmaktadır (Lopez vd., 2016, Sharma vd., 2022). Kalsiyum uygulamaları meyve ve sebzelerde antioksidan kapasitenin artırılması yoluyla da ÜZ’ye karşı duyarlılığı azaltabilmektedir. ‘Keitt’ mango çeşidine 46,1 °C sıcak su ile %0,5 kalsiyum laktat kombinasyonunun, 75 veya 90 dk uygulaması fenolik bileşikler, flavonoid ve karotenoid miktarı ile SOD ve APX aktivitesini yükseltmiş dolayısıyla antioksidan kapasiteyi artırarak ÜZ’ye dayanımını arttırmıştır (Lopez-Lopez vd., 2018).

Polifenoller, kökenini fenilalaninden almakta ve bu nedenle fenilpropanoidler olarak da adlandırılmaktadır. Fenilpropanoid sentezi abiyotik stres şartlarında aktive olmakta ve bu da çeşitli polifenolik bileşiklerin birikmesine yol açmaktadır (Sharma vd., 2019; Zagoskina vd., 2023). CaCl_2 uygulaması ikincil metabolit biyosentezine katılan genlerin çoğunu ve özellikle fenilpropanoid yolunu etkilemektedir. CaCl_2 uygulanmış nektarinlerde fenolik bileşik ve flavonoid miktarı sırasıyla %12,5 ve %80,6 oranında artmış, bu da fenilpropanoid enzimleri olan fenil alanin amonyak-liyaz (PAL), 4-kumarat-CoA ligaz (4CL) ve kalkon sentaz (CHS) enzimlerinin ifadesinin artmasından kaynaklanmıştır. Ayrıca CaCl_2 ROS temizleme kapasitesini artırarak ROS miktarını azaltmış ve meyvelerin antioksidan aktivitesini arttırmıştır. Dolayısıyla CaCl_2 uygulaması hem enzimatik hem de enzimatik olmayan antioksidan sistemler aracılığıyla nektarinlerde üşüme zararına dayanımı arttırmıştır (Liu vd., 2024).

3. SONUÇ

Üşüme zararı, soğukta muhafazaya duyarlı tropik meyve ve sebzelerin kritik eşik sıcaklıklar altında taşınması ve depolanması sırasında ortaya çıkan fizyolojik bir bozukluktur. Üşümeye duyarlı ürünler 10°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda üşüme zararı olmaksızın güvenli bir şekilde depolanabilmekle birlikte, bu yüksek sıcaklıklarda ürünlerin solunum hızı arttığı için kalite kayıpları hızlanmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada üşümeye duyarlı ürünlerin düşük sıcaklıklarda dayanımının artırılmasında kalsiyumun rolü ve bu konuda yapılan çalışma sonuçları incelenmiştir. Buna göre hasat sonrası kalsiyum uygulamaları tek başına veya diğer uygulamalarla kombine olarak ürünlerin üşüme zararına duyarlılığını azaltmaktadır. Kalsiyum uygulanan meyvelerde hücre çeperinin yapısını bozan enzim aktiviteleri yavaşlatılarak hücre zar bütünlüğünün korunduğu; ürünlerin antioksidan kapasitelerinin artırılarak ürünün savunma mekanizmasının harekete geçirildiği, ek olarak ürünlerde olgunlaşmaya neden olan enzim aktiviteleri de geciktirilerek üşüme zararına duyarlılığın azaltıldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak kalsiyum uygulamaları meyve ve meyvesi yenilen sebze türlerinde üşüme zararının etkili bir şekilde azaltılmasını sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

1. Aghdam, M. S., Bodbodak, S. Postharvest heat treatment for mitigation of chilling injury in fruits and vegetables. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 37-53, (2014).
2. Albornoz, K., Zhou, J., Yu, J., Beckles, D. M. Dissecting postharvest chilling injury through biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, 78, 102790, 2022.
3. Barrientos-Priego, A. F., Martínez-Damián, M. T., Vargas-Madríz, H., & Lázaro-Dzul, M. O. Effect of preharvest calcium spraying on ripening and chilling injury in 'Hass'(Persea americana Mill.) avocado. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 22(3), 145-159, 2016.
4. Carvajal, F., Palma, F., Jamilena, M., Garrido, D. Cell wall metabolism and chilling injury during postharvest cold storage in zucchini fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 108, 68-77, 2015.
5. Dolhaji, N. H., Rasid, N. H. A. M., Tarmizi, N. H. A., Shampazuraini, S., Nur Suraya, A. A study on postharvest calcium treatment on chilling injury of tomato fruit. *Food Research*, 8(4), 127-135, 2024.
6. Elbagoury, M. M., Turoop, L., Runo, S., Sila, D. N. Regulatory influences of methyl jasmonate and calcium chloride on chilling injury of banana fruit during cold storage and ripening. *Food Science & Nutrition*, 9(2), 929-942, 2021.
7. Gao, Q., Xiong, T., Li, X., Chen, W., Zhu, X. Calcium and calcium sensors in fruit development and ripening. *Scientia Horticulturae*, 253, 412-421, 2019.
8. Jiao, W., Xi, Y., Cao, J., Fan, X., Jiang, W. Regulatory effects of CaCl₂, sodium isoascorbate, and 1-methylcyclopropene on chilling injury of banana fruit at two ripening stages and the mechanisms involved. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13442, 2018.
9. Koushesh Saba, M., Arzani, K., Barzegar, M. Impact of Postharvest Calcium Treatments on Storage Life, Biochemical Attributes and Chilling Injury of Apricot. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 18(5):1355-1366, 2018.

10. Liu, Y., Wu, J., Li, Y., Deng, W., Cao, K., Li, Z., & Wang, L. (2024). Calcium chloride enhances phenylpropanoid metabolism, antioxidant ability and phytohormone signaling to effectively alleviate chilling injury in postharvest nectarines. *Postharvest Biology and Technology*, 217, 113122.
11. Lopes, M. M., Silva, E. O., Canuto, K. M., Silva, L. M., Gallão, M. I., Urban, L., Miranda, M. R. A. Low fluence pulsed light enhanced phytochemical content and antioxidant potential of ‘Tommy Atkins’ mango peel and pulp. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 216-224, 2016.
12. Lukatkin, A. S., Brazaitytė, A., Bobinas, Č., Duchovskis, P. Chilling injury in chilling-sensitive plants: a review. *Žemdirbystė=Agriculture*, 99, 2, 111–124, 2012.
13. Mirdehghan, S. H., Ghotbi, F. Effects of salicylic acid, jasmonic acid, and calcium chloride on reducing chilling injury of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(1), 163-173, 2014.
14. Šamec, D., Karalija, E., Šola, I., Vujčić Bok, V., Salopek-Sondi, B. The role of polyphenols in abiotic stress response: The influence of molecular structure. *Plants*, 10(1), 118, 2021.
15. Sharma, D., Shree, B., Kumar, S., Kumar, V., Sharma, S., Sharma, S. Stress induced production of plant secondary metabolites in vegetables: functional approach for designing next generation super foods. *Plant Physiology and Biochemistry*, 192, 252-272, 2022.
16. Wei, D., Zhao, X. H. Calcium maintained higher quality and enhanced resistance against chilling stress by regulating enzymes in reactive oxygen and biofilm metabolism of Chinese winter jujube fruit. *Journal of food biochemistry*, 44(4), e13161, 2020.
17. Wu, J., Tang, R., Fan, K. Recent advances in postharvest technologies for reducing chilling injury symptoms of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry: X*, 21, 101080, 2024.
18. Zagorskina, N. V., Zubova, M. Y., Nechaeva, T. L., Kazantseva, V. V., Goncharuk, E. A., Katanskaya, V. M., Aksenova, M. A. Polyphenols in plants: structure, biosynthesis, abiotic stress regulation, and practical applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(18), 13874, 2023.
19. Zhang, M., Zhang, Q., Tian, C., Liu, G., Pan, Y., Xu, X., Meng, L. Physiological and transcriptome analyses of CaCl₂ treatment to alleviate chilling injury in pineapple. *Plants*, 11(17), 2215, 2022.
20. Zhang, W., Jiang, H., Cao, J., Jiang, W. Advances in biochemical mechanisms and control technologies to treat chilling injury in postharvest fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 355-365, 2021.

YENİLEBİLİR ÇİÇEKLERDE HASAT SONRASI KALİTE

Prof.Dr.Rezzan KASIM⁶

Kocaeli Üniversitesi
Ziraat Fakültesi
Bahçe Bitkileri Bölümü
rkasim@kocaeli.edu.tr- 0000-0002-2279-4767

Prof.Dr.M.Ufuk KASIM

Kocaeli Üniversitesi
Ziraat Fakültesi
Bahçe Bitkileri Bölümü
mukasim@kocaeli.edu.tr- 0000-0003-2976-7320

ÖZET

Çiçek veya çiçek parçaları çok eski zamanlardan beri gıda olarak tüketilmekte olup bu kullanım şekli günümüzde değişik çiçeklerin kullanımı ile daha da yaygınlaşmaktadır. Roma döneminde gül yaprakları değişik preparatlarda kullanılırken, antik Yunanistan’da papatya ve Çin’de ise krizantem kullanılmıştır. Orta çağda özellikle Fransa’da aynısefa çiçekleri salataların bileşeni olarak kullanılırken 1600’lü yıllardan itibaren menekşe içeren ürünlerde popüler hale gelmiştir. Benzer şekilde Avrupa’nın değişik bölgelerinde karanfil, karahindiba ve mürver çiçekleri tüketilmiştir. Ülkemizde de gülün petal yapraklarından reçel ve gül suyu yapımı yaygın bir uygulamadır. Yenilebilir çiçekler vitamin, mineral ve fenolik bileşikler gibi biyoaktif bileşenler bakımından zengin olup yağ ve protein içeriği daha düşüktür. Bununla birlikte yenilebilir çiçeklerin yüksek antioksidan kapasiteleri nedeniyle insan sağlığı bakımından önemli etkileri bulunmaktadır. *Calendula officinalis* çiçeğinin antioksidan gücünün 3,6 mmol FeSO₄/100g TA iken *Tagetes erecta* çiçeğinin antioksidan gücünün ise 70,4 mmol FeSO₄/100g TA olduğu ve bu aktivitenin çiçeklerin antosiyanin miktarının yüksek olmasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Yenilebilir çiçekler genellikle taze olarak tüketilmektedir ancak bu çiçekler hasattan sonra da canlılıklarını devam ettirdikleri için hasat sonrası ömürleri oldukça kısadır. Yenilebilir çiçeklerdeki hasat sonrası yaşlanma süreci etilen ve programlanmış hücre ölümü nedeniyle. Bu çiçeklerdeki ilk görünür bozulma belirtisi çiçek morfolojisinin, renginin ve bazen aromasının değişmesidir. Yenilebilir çiçeklerde hücrenin canlı kalma süresinin uzatılması ve biyoaktif bileşenlerin korunması açısından farklı teknolojiler uygulanmaktadır. Bunlardan birisi çiçeklerin hasadından kullanımına kadar soğuk zincirin kullanılmasıdır. Bu derleme çalışmada yenilebilir çiçeklerin hasat sonrası kalitesi ile kalitenin korunmasında kullanılan uygulamalar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilebilir çiçek, kalite, antioksidan kapasite, canlılık.

⁶ Sorumlu yazar

1. GİRİŞ

Yenilebilir çiçekler, insan beslenmesinde kullanılan, sağlık açısından faydalı, toksik olmayan zararsız çiçekler olarak tanımlanmakta ve çok eski zamanlardan beri insanlar tarafından hem tıbbi özellikleri hem de aromatik ve lezzetlendirici özelliklerinden beri kullanılmaktadır. Yenilebilir çiçekler 2000 yıl öncesinden başlayarak insan beslenmesinde kullanılmış, Asya, antik Yunanistan ve Roma, Orta çağ Fransa'sı, Avrupa, İngiltere ve Orta Doğuda çiçeklerin tüketimi belgelenmiştir. Antik Roma'da değişik gül çeşitleri püre ve omlet malzemesi olarak, Fransa'da aynısefa (*Calendula officinalis*) çiçekleri salata olarak, Orta Avrupa'da *Sambus nigra*'nın çiçekli salkımları tüketilmiştir (Sarode, 2024). Eski Çin'de ise yenilebilir çiçekler bitkisel ilaç bileşeni olarak da kullanılmaktaydı. Ülkemizde de meyvesi sebze olarak kullanılan kabak bitkisinin çiçekleri dolma yapılarak tüketilmekte, gül çiçeklerinden gül suyu ve gül reçeli yapılmakta, hatmi ve papatya gibi çiçeklerin çayı yapılarak tüketilmektedir. Yenilebilir çiçeklerin gastronomide birincil kullanım alanı çekici renkleridir (Mlcek vd., 2021).

Yenilebilir çiçekler, düşük kalori veren karbonhidratlar, proteinler, lifler, makro ve mikro elementler gibi besleyici değerleri ile öne çıkmaktadır. Ek olarak bu çiçekler insan sağlığına antioksidan ve hipoglisemik etkileri ile katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla günümüzde bu çiçeklerin insan sağlığı üzerindeki bu olumlu etkileri konusunda farkındalığın artması ve insanların sağlıklı yaşam için Akdeniz tipi diyet gibi beslenme tarzlarını benimsemesi dolayısıyla yenilebilir çiçekler tekrar gündeme gelmiş ve yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır (Zeng vd., 2021). Yenilebilir çiçeklerin kullanımının artmış olması, hasat sonrası dönemde oldukça hassas olan ve hızlı yaşlanan bu çiçeklerin hasat sonrası dayanım mekanizmalarının geliştirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Fernandez vd., 2018). Yenilebilir çiçekler çok duyarlıdır ve su içerikleri oldukça yüksek olduğundan bu çiçeklerdeki turgor kaybı, çiçeklerin estetik değerini azaltan ve satış kalitesinin azalmasına yol açan önemli özelliktir. Bu etki karanfil, arslan ağzı, hercai menekşe gibi çiçeklerde belirlenmiştir (Pêgo vd., 2022). Çiçeklerin yaşlanması, renk, lezzet, besin faktörleri ve diğer duyuşal özelliklerde azalmanın meydana geldiği bir dizi fizyolojik, biyokimyasal ve metabolik değişimleri içeren ve ürünlerin raf ömrünü kısaltan doğal ve geri dönüşsüz bir süreçtir ve çiçeklerin beslenme özelliklerini de değiştirmektedir (Pires vd., 2019).

Bu derleme çalışmada yenilebilir çiçeklerin hasattan sonraki kalitelerinin korunmasına yönelik olarak yapılan çalışmalar incelenmiş ve çiçeklerin bozulmadan saklanma yöntemleri ortaya konulmuştur.

2. YENİLEBİLİR ÇİÇEK TÜRLERİ

Yenilebilir çiçeklerin şekli, rengi ve tadı birbirinden oldukça farklı olan oldukça fazla sayıda çeşidi bulunmaktadır (Mlcek vd., 2021). Lu vd. (2016), dünya üzerinde 97 ailya, 100 cins içerisinde 180 yenilebilir çiçek türü bulunduğunu belirtmişlerdir. Yenilebilir çiçeklerden bazıları Görsel 1'de gösterilmiştir.

			
<i>Abelmoschus manihot</i> (L.) Medik.	<i>Acmella oleracea</i> (L.) RKJansen	<i>Ageratum houstonianum</i> Mill.	<i>Allium ursinum</i> L.
			
<i>Amaranthus caudatus</i> L.	<i>Antirrhinum majus</i> L.	<i>Bellis Perennis</i> L.	<i>Borago officinalis</i> L.
			
<i>Bougainvillea glabra</i> Choisy	<i>Calendula officinalis</i> L.	<i>Camellia japonica</i> L.	<i>Canna indica</i> L.
			
<i>Celosia argentea</i> L.	<i>Chrysanthemum morifolium</i> Ramat.	<i>Cucurbita maxima</i> Duchesne	<i>Dianthus caryophyllus</i> L.
			
<i>Gerbera jamesonii</i> Bolus ex Hook. f.	<i>Tagetes erecta</i>	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i> L.	<i>Jasminum sambac</i> (L.) Aiton

Görsel 1. Bazı yenilebilir çiçekler

3.YENİLEBİLİR ÇİÇEKLERİN TÜKETİM ŞEKLİ

Yenilebilir çiçekler genellikle bütün olarak tüketilmekle birlikte lale (*Tulipa spp.*), krizantem (*Chrysanthemum*) ve gülün (*Rosa spp*) petalleri; papatyanın (*Bellis perenis*) tomurcukları tüketilmektedir (Mlcek ve Rop, 2011).

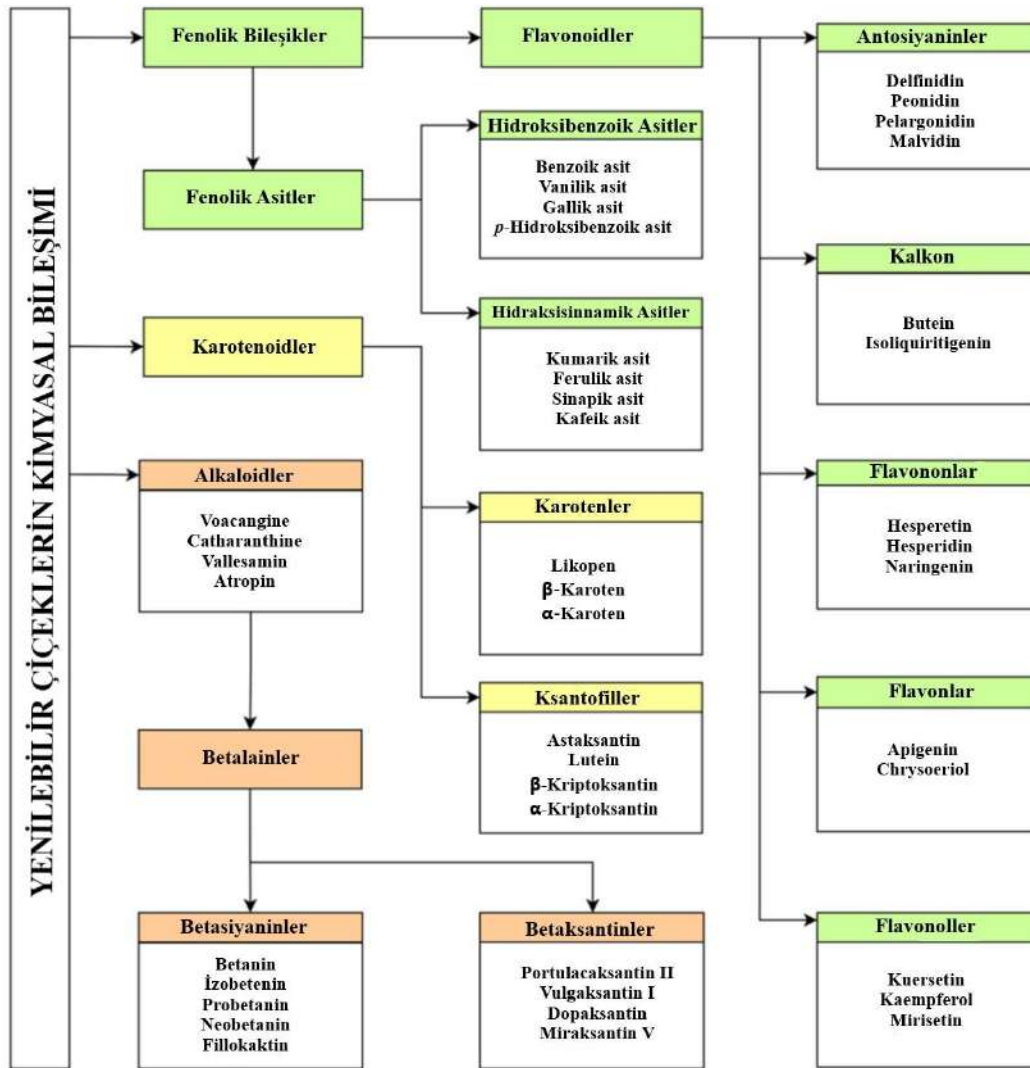
Yenilebilir çiçekler, gıda bileşeni olarak çeşitli şekillerde kullanılabilir. Doğrudan tüketilebilme, pişirilerek yenilme veya çekici renkleri ile yalnızca garnitür olarak diyetle yer alabilir (Prabawati vd., 2021). Bazı yenilebilir çiçeklerin gıda ve tıbbi amaçlı olarak kullanımları Çizelge 1’de verilmiştir. Buna göre gerbera çiçeğinden çay yapılırken, gün zambağı sebze olarak değerlendirilmekte, kadife çiçeği salata veya garnitür olarak kullanılabilir.

Çizelge 1. Dünya üzerinde yenilebilir çiçeklerin geleneksel ve tıbbi kullanımı (Sarode vd., 2024).

Bilimsel Adı	Genel adı	Familya	Geleneksel kullanım	Tıbbi amaçlı kullanım
<i>Chrysanthemum spp</i>	Krizantem	Asteraceae	Çay	İltihaplanma, kolit, zatürre ve hipertansiyon
<i>Gerbera jamesonii</i>	Gerbera	Asteraceae	Çay	Öksürük, bronşit, karaciğer ve böbrek hastalıkları, şişkinlik
<i>Hemerocallis fulva</i>	Gün zambağı	Liliaceae	Sebze	İltihaplanma, hazımsızlık ve depresyon
<i>Hibiscus rosasinensis</i>	Çin gülü	Malvaceae	Çay	Gıda takviyesi, öksürük, ateş, genito-üriner hastalıklar
<i>Jaminum sambac</i>	Arap yasemini	Oleaceae	Çay	Kanser, ülser, cilt hastalıkları
<i>Dianthus caryophyllus</i>	Karanfil	Caryophyllaceae	Şarap, şekerleme, pasta süsleme ve tatlılar	Kas spazmları, kalp sağlığı, ishal,
<i>Nelumbo nucifera</i>	Lotus	Nelumbonaceae	Pişirme, fırınlama ve içeceklerle lezzet verme	Kanama, öksürük, ateş, karaciğer ve mide sorunları
<i>Rhododendron arboretum</i>	Orman gülü	Ericaceae	İçecek, reçel	Kalp hastalığı, dizanteri, ishal, detoks, iltihap, ateş, kabızlık, bronşit ve astım
<i>Rosa spp.</i>	Gül	Rosaceae	Çay, salata, kek, reçel, gül suyu, aroma verici	Kanser, iltihaplanma, yaşlanma, kalp hastalıkları
<i>Tagetes erecta and Tagetes patula</i>	Kadife çiçeği	Asteraceae	Salata, gıda boyası	Yaşlanma karşıtı, iltihap giderici
<i>Hemerocallis</i>	Gündüz zambağı	Hemerocallidaceae	Salata, garnitür	İltihaplanma, hazımsızlık ve depresyon
<i>Gladiolus spp</i>	Kılıç çiçeği	Iridaceae	Tatlı-tuzlu ezmeler, köpük	İshal, öksürük ve soğuk algınlığı, dizanteri ve kabızlık
<i>Lavandula multifida, Lavandula stoechas, Lavandula angustifolia</i>	Lavanta	Lamiaceae	Tatlı-tuzlu yemeklerde, bisküviler, şerbetler, reçeller, jöleler için lavanta şekeri	Kaygı, mantar enfeksiyonları, allerjiler, uykusuzluk, egzama, mide bulantısı

4. YENİLEBİLİR ÇİÇEKLERİN BİYOAKTİF BİLEŞENLERİ

Yenilebilir çiçekler fenolik bileşikler, karotenoidler, betalainler ve alkaloidler olmak üzere birçok biyoaktif madde içermektedir (Görsel 2, Pires Jr vd., 2021). Bu biyoaktif maddelerden birisi olan fenolik bileşikler güçlü bir antioksidan aktivite göstererek reaktif oksijen türlerini (ROS) temizlemektedir. Fenoliklerin yeterli oranda alımı ile kardiyovasküler, dismetabolik ve nörodejeneratif hastalıklar ve kanser riski azalmakta, bu bileşikler anti-inflamatuar etki göstererek, bağırsak mikrobiyotasi bileşimini olumlu yönde etkilemektedir (Devecchi vd., 2021). Yenilebilir çiçekler fenolik bileşikler bakımından zengin olup, tip 2 diyabet gibi beslenme ve yaşam tarzından kaynaklanan ve bulaşıcı olmayan kronik hastalıklara karşı nutrasotik kaynak olarak önemlidir (Scariot vd., 2022).



Görsel 2. Yenilebilir çiçeklerde yaygın olarak bulunan kimyasal bileşik örnekleri (Pires Jr vd., 2021).

Allium ursinum, L., *Borago officinalis* L., *Calendula officinalis* L., *Centaurea cyanus* L., *Cichorium intybus* L., *Dianthus carthusianorum* L., *Lavandula angustifolia* Mill., *Leucanthemum vulgare* (Vaill.) Lam., *Paeonia officinalis* L., *Primula veris* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Rosa canina* L., *Rosa pendulina* L., *Salvia pratensis* L., *Sambucus nigra* L. *Taraxacum officinale* Weber ve *Tropaeolum majus* L. (Görsel 3) olmak üzere 17 farklı yenilebilir çiçek türünün hasat sırasındaki duyuşal profilleri ve soğuk depolama süresince biyoaktif bileşik dinamikleri raf ömürleri değerlendirilmiştir. Genel olarak türlerin hasat sırasındaki duyuşal ve fitokimyasal özellikleri geniş bir yelpazede dağılmıştır. A. ursinum, D. carthusianorum, L. angustifolia ve L. vulgare'nin aromasının oldukça güçlü iken, B. officinalis ve C. officinalis'in tat ve aroması diğerlerine zayıf olduğu ortaya çıkmıştır. Hasat sırasında P. officinalis, R. canina ve R. pendulina'nın polifenol değerleri (884-1271 mg gallik asit eşdeğeri/100 g) ve antioksidan kapasitesi (FRAP için 204-274 mmol Fe+2/kg, DPPH ve ABTS için 132-232 ve 43-58 µmol Trolox eşdeğeri/g) diğerlerine göre oldukça yüksektir. R. pendulina'nın raf ömrü 14 gün olmuş, bunu R. canina (10 gün) izlemiş ve 3 günlük raf ömrüne ulaşamayan C. intybus ve T.officinale türleri dışında diğer türler 7 gün canlı kalabilmiştir. Türlerin biyoaktif bileşikleri farklılık gösterirken, antosiyaninler 14 gün boyunca değişmeden kalmıştır (Demasi vd., 2021).



Görsel 3. Seçilen 17 yenilebilir çiçek türü

5. YENİLEBİLİR ÇİÇEKLERDE HASAT SONRASI KALİTE

Yenilebilir çiçeklerin su içerikleri çok yüksek olduğundan hasattan sonra çabuk bozulmaktadır. Bu nedenle hasat sonrası raf ömürleri; petallerinin dökülmesi ve renklerinin bozulması, çiçeklerin solması, su kaybı ve doku kararması nedeniyle 2-5 gün kadar kısadır. Kesme çiçekler ile karşılaştırıldığında, saplarının çok kısa olması ve su kaynağı olmadan saklanmaları nedeniyle daha savunmasızdır. Bu çiçeklerin hasat edildiği gün tüketilmeleri önerilmekle birlikte, ticari olarak kullanımını sınırlamaktadır (Kou vd., 2012).

5.1. Soğuk Depolama

Sıcaklık meyve, sebze ve çiçeklerin raf ömrünü sınırlayan en önemli çevresel faktördür. Yenilebilir çiçek endüstrisinde, hasat sonrası çiçek kalitesinin korunmasında kullanılan ana teknolojiler; soğukta depolama (soğutma ve dondurma) ve sıcak hava ile kurutmadır. Soğuk depolama çiçeğin yaşlanmasını ve kalite kayıplarını geciktirmektedir. Düşük sıcaklıklarda depolama çiçeklerin solunum hızını ve dokuların enzimler ile içsel bozulmasını yavaşlatır, su kaybı ve solmayı azaltır, mikroorganizma gelişimini yavaşlatır ve etilen üretimini azaltır, dolayısıyla çiçeklerin raf ömrünü uzatır (Fernandes vd., 2019). Kapalı plastik kutulara ve çift yönlü plastik film içerisine yerleştirilmiş kapaksız plastik kutulara (akış paketi) konularak saklanan *Viola cornuta* L. saksı bitkilerinin çiçeklerinin raf ömrü uzamış, akış paketi ise çiçeklerin biyoaktif bileşenlerinin daha iyi korunmasını sağlamıştır. *B. semperflorens* çiçekleri yapılan uygulamadan etkilenmemiştir (Görsel 4, Demasi vd., 2020).



Görsel 4. Taze hasat edilen ve plastik paketlerde soğuk ortamda bekletilen *V.cornuta* (solda) ve *B. semperflorens* (sağda) çiçekleri (Demasi vd., 2020)

Açık ve koyu renkli *Viola cornuta*, *Viola tricolor*, *Anthirrhinum majus*, *Dianthus chinensis* ve *Tagetes patula* yenilebilir çiçeklerinde $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve %90-95 oransal nemde depolama, çiçeklerin suda çözünür toplam kurumadde miktarını arttırırken, titrasyon asitliğini azaltmıştır. Bununla birlikte çiçeklerin ticari ömrü oldukça kısa olup 4-6 gün arasında değişmiş, buna karşın toplam ömürleri maksimum 6-14 gün olmuştur (Pêgo vd., 2022).

Soğukta depolama çiçeklerin kalitesini korumada etkili olurken, çiçeklerin raf ömürleri içerdikleri su miktarına göre değişmektedir. Ayrıca soğukta depolanan çiçeklerde biyokimyasal maddelerin miktarı da depolama şartları ve çiçeklerin yapısına göre farklılık gösterebilmektedir. Saksıda yetiştirilen *Salvia* bitkisinin yenilebilir çiçekleri 5°C 'de 6 gün bekletildiğinde çiçek ve yapraklarında enzimatik kararmanın oluşmadığı, çiçeklerden 4 kat daha fazla askorbik asit (ASA) içeren yapraklarda miktarında %43 düzeyinde azalma olurken, çiçeklerin ASA miktarının soğuk depolamadan etkilenmediği bulunmuştur. Ayrıca hem yaprakların hem de çiçeklerin fenolik madde miktarları soğuk depolamadan etkilenmemiştir (Landi vd., 2015). Buna karşılık, aynı araştırmacılar tarafından farklı çiçeklerde yapılan çalışmada hasat edildikten sonra 4°C sıcaklık ve ışık altında plastik kutular (PET) içerisinde 8 gün süreyle

bekletilen *Acmella oleracea* L., *Begonia semperflorens* L. (Beyaz, pembe ve koyu pembe), *Salvia discolor* Kunth, *Tulbaghia cominsii* Vosa ve *Tropaeolum majus* L., çiçeklerinin askorbik asit miktarının soğuk depolamadan olumsuz etkilendiği buna karşılık; fenolik, flavonoid ve antosiyanin içerikleri üzerinde belirgin bir etki olmadığı belirtilmiştir. Benzer şekilde soğuk depolamanın toplam antioksidan kapasitenin azalmasında çiçeklere göre değişen oranlarda etkili olduğu ifade edilmiştir. Ek olarak su içeriği az olan çiçeklerin raf ömrünün daha uzun olabileceği ve su kaybını önlemenin raf ömrünü uzatmada anahtar olabileceği bildirilmiştir (Landi vd., 2018).

Sıcaklık hasat edilmiş bitkilerin metabolizmasını etkileyen en önemli faktördür. Düşük sıcaklıkta bekletme çiçeklerin kalitesini türlere göre farklı şekillerde etkilemektedir. Bu nedenle düşük ve yüksek sıcaklıkların çiçeklerdeki etkileri de araştırılmaktadır. *Hemerocallis lilioasphodelus* L. çiçekleri hasat edildikten sonra 5°C’de 5 gün bekletildikten veya 5 dakika süreyle 50°C sıcaklık uygulandıktan sonra 20°C’de 5 gün bekletilmiştir. Soğutma ve ısıtma çiçeklerin organoleptik kalitesini korumuş, antioksidan sistemini arttırmıştır. Soğuk uygulaması süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), peroksidaz (POD) ve fenilalanin amonyak liyaz (PAL) aktivitelerini önemli oranda artırırken, sıcak uygulamaları katalar (CAT) aktivitesini arttırmış, polifenol oksidaz (PPO) aktivitesini azaltmıştır. Ayrıca sıcak uygulaması hidrojen peroksit miktarını da azaltmıştır (Liu vd., 2018).

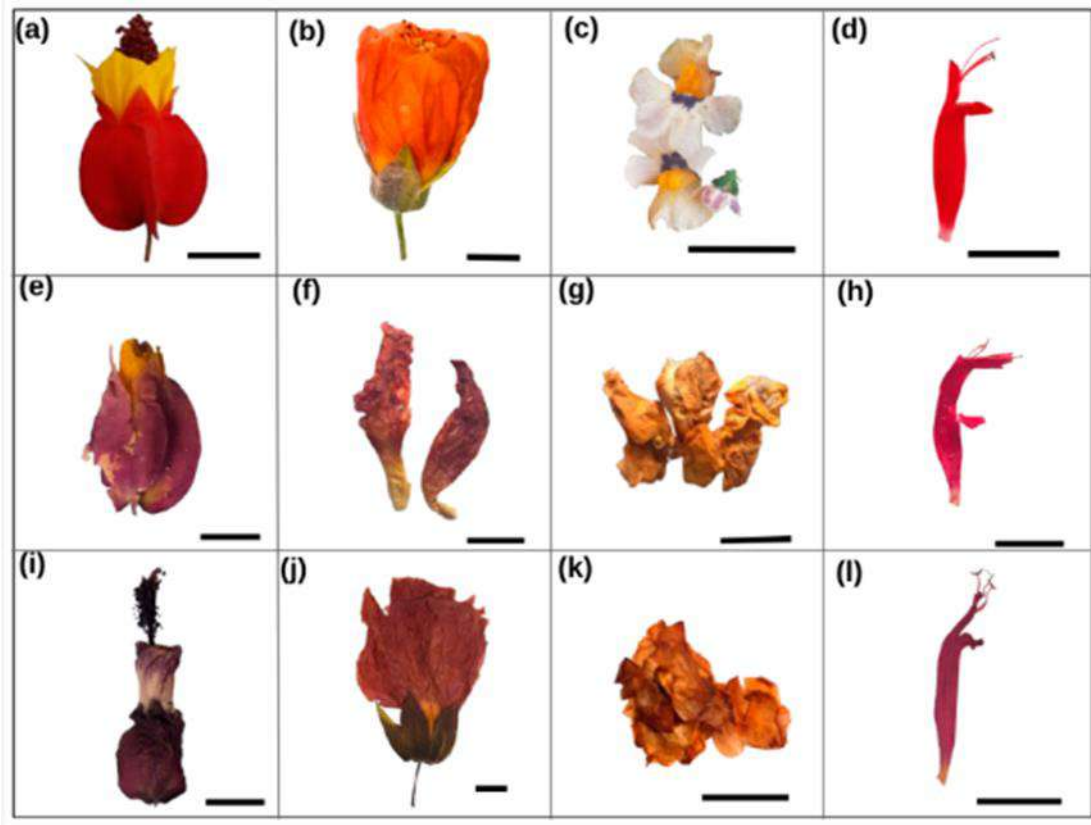
5.2. Kurutma

Yenilebilir çiçekler günümüzde taze olarak tüketilmesine karşın raf ömrü kısa olduğundan, uygun bir kurutma tekniği kullanılarak bu çiçeklerde görsel kalite ve değerli nutrasötik özelliklerdeki kayıplar en aza indirilebilmektedir. Yaygın bir süs bitkisi olan *Begonia cucullata* Wild’in çiçekleri dondurarak veya 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklık derecelerindeki sıcak hava uygulanarak kurutulmuştur. Kurutma uygulamaları çiçeklerin kalitelerini korurken, özellikle 60-70 °C’deki sıcak hava ile kurutma polifenoller, flavonoidler ve antosiyaninler gibi antioksidan bileşiklerin daha iyi korunmasını sağlamıştır. Kurutma uygulamaları çiçeklerin görsel kalitesini önemli oranda etkilemiş, özellikle sıcak hava ile kurutulan çiçeklerin rengi daha koyu olarak kalmıştır (Görsel 5). Benzer şekilde dondurarak kurutmaya karşılaştırıldığında sıcak hava ile kurutma çiçeklerin organoleptik kalitelerini de korumuştur (Marchioni vd., 2022).



Görsel 5. *B. cucullata* çiçeklerinin görsel kalitesi. (a) taze, (b) dondurarak-kurutma, (c) sıcak hava kurutma (SHK) 50 °C, (d) SHK 60 °C, (e) SHK 70 °C, (f) SHK 80 °C (Marchioni vd., 2022).

Yenilebilir çiçeklerin, hasat sonrası hem görsel hem de biyokimyasal kalitesinin korunması, insan beslenmesi için kritik noktadır. Yenilebilir çiçek türünün çok fazla olması güvenli tüketim için türlerin biyokimyasal bileşenlerinin ortaya çıkarılması gerekliliğini göz önüne sermektedir. İnsan beslenmesinde yani yeni kullanılmaya başlanan *Callianthe megapotamica*, *Callianthe striata*, *Nemesia strumosa* ve *Salvia elegans*'in türlerinde dondurarak kurutma ve sıcak hava ile kurutma, türlerin antioksidan kapasitesini arttırırken, dondurarak kurutulmuş *C.striata*'nın primer ve sekonder metabolit içeriği en yüksek olurken, sıcak hava ile kurutulmuş *N. Strumosa*'nın askorbik asit miktarı diğerlerinden yüksek olmuştur. Tüm türler önemli oranda antioksidan aktivite göstermiştir (Machado vd., 2023, Görsel 6).



Görsel 6. Hasat sonrası dönemde *Callianthe megapotamica* (a,e,i), *Callianthe striata* (b,f,j); *Nemesia strumosa* (c,g,k) ve *Salvia elegans* (d,h,l) görselleri, taze (a–d), vakumlu dondurarak kurutma (e–h) ve sıcak hava kurutma (i–l). Çizgiler 1 cm'yi ifade etmektedir (Machado vd., 2023).

6. SONUÇ

Yenilebilir çiçekler taze veya kurutulmuş olarak, gıda endüstrisi tarafından değişik şekillerde kullanılabilir. Ayrıca bu çiçeklerin tıbbi olarak kullanımı da söz konusudur. Yenilebilir çiçekler canlı ve su içerikleri yüksek olan bitkiler olduklarından, hasat sonrası ömürleri oldukça kısadır. Bu nedenle hem hasat sonrası raf ömrünün hem de kalitelerinin korunması gereklidir. Yenilebilir çiçeklerde hasat sonrası kalitenin korunmasında genel olarak sıcak uygulamaları ile veya kurutma teknikleri kullanılmaktadır. Ancak güncel literatür incelendiğinde, çok fazla çiçek türü olduğu göz önüne alındığında, bu konu ile ilgili yapılmış çalışma oldukça az olup,

çalışmalar belirli türlerde yoğunlaşmıştır. Yenilebilir çiçeklerin oldukça popüler olduğu ve hem gıda hem de tıbbi yönü nedeniyle oldukça fazla kullanıldığı günümüzde, çiçeklerin hasat sonrası ile ilgili çalışmaların sayısının artırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

1. Demasi, S., Falla, N. M., Caser, M., Scariot, V. Postharvest aptitude of *Begonia semperflorens* and *Viola cornuta* edible flowers. *Advances in Horticultural Science*, 34, (1S), 13-20, 2020.
2. Demasi, S., Mellano, M. G., Falla, N. M., Caser, M., Scariot, V. Sensory profile, shelf life, and dynamics of bioactive compounds during cold storage of 17 edible flowers. *Horticulturae*, 7(7), 166, 2021.
3. Devecchi, A., Demasi, S., Saba, F., Rosato, R., Gambino, R., Ponzo, V., Scariot, V. Compositional characteristics and antioxidant activity of edible rose flowers and their effect on phenolic urinary excretion. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 71(4), 383-392, 2021.
4. Fernandes, L., Ramalhosa, E., Pereira, J.A., Saraiva, J.A., Casal, S. The unexplored potential of edible flowers lipids. *Agriculture*, v.8 art.146, 2018.
5. Fernandes, L., Saraiva, J. A., Pereira, J. A., Casal, S., Ramalhosa, E. Post-harvest technologies applied to edible flowers: A review: Edible flowers preservation. *Food Reviews International*, 35(2), 132-154, 2019.
6. Kou, L.; Turner, E.R.; Luo, Y. Extending the Shelf Life of Edible Flowers with Controlled Release of 1-Methylcyclopropene and Modified Atmosphere Packaging. *J. Food Sci.*, 77 (5), 188–193, 2012.
7. Landi, M. A. R. C. O., Ruffoni, B., Salvi, D., Savona, M., Guidi, L. U. C. I. A. Cold storage does not affect ascorbic acid and polyphenolic content of edible flowers of a new hybrid of sage. *Agrochimica*, 59(4), 348-357, 2015.
8. Landi, M., Ruffoni, B., Combournac, L., Guidi, L. Nutraceutical value of edible flowers upon cold storage. *Italian Journal of Food Science*, 30, 2 , 2018.
9. Liu, W., Zhang, J., Zhang, Q., Shan, Y. Effects of postharvest chilling and heating treatments on the sensory quality and antioxidant system of daylily flowers. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 59, 671-685, 2018.
10. Lu, B., Li, M., & Yin, R. Phytochemical content, health benefits, and toxicology of common edible flowers: a review (2000–2015). *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(sup1), S130-S148, 2016.
11. Machado, J. S., Pieracci, Y., Carmassi, G., Ruffoni, B., Copetta, A., Pistelli, L. Effect of Drying Post-Harvest on the Nutritional Compounds of Edible Flowers. *Horticulturae*, 9(11), 1248, 2023.
12. Marchioni, I., Dimita, R., Gioè, G., Pistelli, L., Ruffoni, B., Pistelli, L., & Najar, B. The effects of post-harvest treatments on the quality of *Agastache aurantiaca* edible flowers. *Horticulturae*, 7(4), 83, 2021.
13. Mlcek, J., Plaskova, A., Jurikova, T., Sochor, J., Baron, M., Ercisli, S. Chemical, nutritional and sensory characteristics of six ornamental edible flowers species. *Foods*, 10(9), 2053, 2021.

14. Mlcek, J., Rop, O. Fresh edible flowers of ornamental plants–A new source of nutraceutical foods. *Trends in Food Science & Technology*, 22(10), 561-569, 2011.
15. Pêgo, R. G., Fiorini, C. V. A., Deco, T. A. D., Coneglian, R. C. C., Xavier, M. C. G., Ferreira, W. P. C. Postharvest of edible flowers. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 57, e02953, 2022.
16. Pires Jr, E. D. O., Di Gioia, F., Roupael, Y., Ferreira, I. C., Caleja, C., Barros, L., Petropoulos, S. A. The compositional aspects of edible flowers as an emerging horticultural product. *Molecules*, 26(22), 6940, 2021.
17. Pires, T.C.S.P., Barros, L. Santos-Buelga, C., Ferreira, I.C.F.R. Edible flowers: emerging components in the diet. *Trends in Food Science & Technology*, v.93, p.244-258, 2019.
18. Prabawati, N. B., Oktavirina, V., Palma, M., Setyaningsih, W. Edible flowers: Antioxidant compounds and their functional properties. *Horticulturae*, 7(4), 66, 2021.
19. Sarode, D. K., Pagariya, M. C., Jadhav, P. R., Patil, S. A., Devarumath, R. M., Shingote, P. R., Kavar, P. G. Edible flowers: biotechnological interventions for improving bioactives of food and health significance. *Journal of Food Composition and Analysis*, 106506, 2024.
20. Scariot, V., Ferrante, A., Romano, D. Edible flowers: Understanding the effect of genotype, preharvest, and postharvest on quality, safety, and consumption. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1025196, 2022.
21. Zheng, J., Lu, B., Xu, B. An update on the health benefits promoted by edible flowers and involved mechanisms. *Food Chemistry*, v.340, art.127940, 2021.

TOROS KIZILAĞACI (*ALNUS GLUTINOSA* SUBSP. *ANTITAURICA*) GEN ORMANI POPULASYON ANALİZİ, ADANA / TÜRKİYE

Doç. Dr. Alper UZUN

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği
Bölümü, Orman Botaniği, Kahramanmaraş, Türkiye
auzun@ksu.edu.tr, 0000-0002-2577-7460

İsmail KEÇE

Adana Forestry Regional Directorate, Adana, Türkiye
ikece1988@gmail.com, 0009-0003-0622-9295

ÖZET

Bu çalışmada, Toros kızılağacının (*Alnus glutinosa* subsp. *antitaurica*) doğal yayılış alanları, çap-boy ve yaş dağılımlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. 2024 yılında yapılan Adana-Kozan “Toros Kızılağacı Gen Koruma Ormanı” alanında yapılan alanın koordinatları, yükseltisi, arazi mülkiyeti, bölme numaraları ve bakıları tespit edilmiştir. Ayrıca popülasyon çalışmaları ile mevcut tüm bireylerin çap ve boyları ölçülmüştür. Basit eleme yöntemi ile 221 adet ağaçtan artım burgusu ile artım kalemleri alınmış ve yaş tespitleri yapılmıştır. Bitki örtüsü ve fotoğrafları kayıt altına alınmıştır. Araştırma sonucunda Meydan Şefliği sınırları içerisinde 2.576 adet Toros kızılağaç ağacı bireyi tespit edilmiştir. Tespit edilen yaş dağılımlarına göre en fazla bireyin 21-30 yaş aralığında bulunduğu, ölçülen tüm ağaçların yaş ortalamasının 31 olduğu ve en yaşlı bireylerin 54 ve 64 yaşlarında olduğu tespit edilmiştir. Bu takson çalışma alanında en düşük 1069 m, en yüksek 1316 m arasında yayılmaktadır. Bu taksonun azalan yağışlar nedeniyle bölgedeki mevcudiyetinin risk altında olduğu değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Toros kızılağacı, endemik, gen koruma ormanı, Adana, Türkiye

1. GİRİŞ

Başta iklim değişikliği olmak üzere küresel ısınma ve insan faaliyetleri nedeniyle ormanlarımız tehdit altındadır. Doğal kaynakların bilinçsiz bir şekilde aşırı kullanımı, iklim değişikliği ve küresel ısınmayla birlikte tür çeşitliğindeki azalma gibi yaşanan çevre sorunları ekosistemler üzerindeki tahribatın ve baskıların göstergesidir (Demirci ve Akten, 2024). Doğal kaynaklar içerisinde önemli bir yere sahip olan ormanlarımız yalnızca odunsu bitkilerle ön planda olmayıp, sosyo-ekonomik potansiyele sahip birçok türü içerisinde barındırması ve çevremize sağladığı yararlar sebebiyle koruma çalışmalarında ilk sırada yer almalıdır (Tunçtaner, 2007).

Ekosistemlerin sürdürülebilirliğinin sağlanması, dünya üzerindeki biyolojik çeşitliliğin korunmasına bağlıdır. Ayrıca bu koruma faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi peyzaj estetiğine de katkı sağlamaktadır (Uzun vd., 2012). Biyoçeşitliliği koruma politikalarında en önde planda orman ekosistemleri yer almaktadır. Bu amaca hizmet

etmesi için ayrılacak olan alanlar, dünya genelinde ülke yüz ölçümünün %5-6'sı olacak şekilde tasarlanmıştır. Fakat ülkemizde bu oran %1'dir (Ayan ve Yer-Çelik, 2012).

Genetik çeşitliliğin meydana gelmesi uzun vadede doğa olaylarına bağlıdır. Bu sebeple canlı varlıklar olmasına rağmen genetik kaynaklar, orta ve kısa vadede yenilenemeyen kaynak olarak değerlendirilmektedir (varsayılmaktadır) (Dirik, 1994, Bousquet vd., 1995; Dirik, 1997). Bu kaynakların korunma statüleri incelendiğinde dünyada kabul gören koruma yöntemleri; in-situ (doğal çevresinde) ve ex-situ (doğal çevresi dışında) koruma yöntemleridir. In-situ korumada, doğal ortamında bulunan farklı popülasyonların devamlılığı ve korunması sağlanırken; ex-situ koruma ise gen kaynaklarının doğal ortamı dışında güvenli koşullar altında korunması amaçlanmaktadır. In-situ koruma, genetik çeşitliliğin sağlanmasında ve orman ağacı türlerinin korunmasında; en güvenilir, maliyeti düşük ve uygun bir yöntemdir. Genetik çeşitliliği koruma çalışmalarında doğal ortamında (in-situ) koruma yeterli olmayıp, doğal ortamı dışında (ex-situ) korumadan da faydalanılmalıdır (Tunçtaner, 2003). Genetik çeşitliliğin meydana gelmesi uzun vadede doğa olaylarına bağlıdır. Bu sebeple canlı varlıklar olmasına rağmen genetik kaynaklar, orta ve kısa vadede yenilenemeyen kaynak olarak değerlendirilmektedir (varsayılmaktadır) (Dirik, 1994, Bousquet vd., 1995; Dirik, 1997).

Genetik çeşitliliğin sürdürülebilirliğinin sağlanması, ormancılık çalışmalarında uygulanan müdahaleler ve alınan kararlarda önemli bir yere sahiptir. Yaklaşık 20 türe sahip *Alnus Gaertn.* cinsi bu anlamda büyük ekonomik öneme sahiptir ve türlerden bazıları kuzey yarımkürede kereste kaynağıdır. Ilıman orman ekosistemlerinde, bu cinsin ait ağaç türlerinin özellikle orman rehabilitasyonunda çok önemli kritik bir rolü vardır (Zar ve Amini, 2021). Ayrıca habitat parçalanmaları bu cinsin popülasyonları için en büyük tehdittir (Palabaş Uzun vd., 2012).

Türkiye'nin relikt endemik *Alnus* taksonlarından biri olan ve IUCN'e (Ekim vd., 2000) göre NT: Tehdit altına girebilir kategorisinde yer alan Toros Kızılağacı (*Alnus glutinosa* subsp. *antitaurica*) ise ülkemizde Adana (Kozan, Feke, Karataş), Kahramanmaraş (Göksun, Andırın), Osmaniye, İskenderun (Yarpuz) yörelerinde yetişmektedir (Yılmaz ve Aslan, 2013; Yılmaz, 2020; Yıldırım vd., 2020; Yılmaz ve Yılmaz, 2021). Dere vejetasyonunun bir elemanı olan ve direk suya bağımlı olan endemik Toros Kızılağacının (Yılmaz ve Yılmaz, 2021) bölgede iklim değişiklikleri ile nasıl bir değişime uğrayacağı fikri uzun süreli çalışmamızın ana araştırma konusunu oluşturmaktadır. Bu amaçla, ilk olarak Toros Kızılağacı (*Alnus glutinosa* subsp. *antitaurica*) Gen Koruma Ormanında aktüel durumu anlayabilmek adına bazı öncelikli hedefler belirlenmiştir:

- Doğal yayılış alanlarının tespiti,
- Popülasyon özelliklerinin belirlenmesi,
- Ağaç bireylerin sayısının belirlenmesi,
- Çap-boy ilişkisinin tespiti,
- Yaş tayininin yapılması
- Gelişme çağlarına göre bireylerin dağılımının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

3.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı olan Adana ili, Kozan İlçesi Görbeyaz Mevki, Akdeniz fitocoğrafik bölgesinin Kuzey doğusunda yer almaktadır (Davis vd. 1971). Aynı zamanda Davis (1965)'in grid sistemine göre büyük bir alanı C5 karesinde bulunmaktadır. İl idari sınırları (Görsel 1) 1/25.000 ölçekli paftalar üzerinde yapılan incelemelere göre; 36-37 kuzey paralelleri ile 35-36 doğu meridyenleri arasında konumlanmaktadır. Çalışma alanı aynı zamanda Adana Orman Bölge Müdürlüğü Kozan Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Meydan Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde kalmaktadır. Bu alanın seçilmesinde; 2014 yılında "Gen Koruma Ormanı" statüsüne girmesi etkili olmuştur.

Sınırları: Meydan Orman İşletme Şefliği; doğuda Mansurlu Orman İşletme Şefliği (Feke Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı), batıda Söğüt Orman İşletme Şefliği (Pos Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı), kuzeyde Burhaniye Orman İşletme Şefliği (Kayseri Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı) ve güneyde ise Akdam Orman İşletme Şefliği'ne komşudur.

Çalışma alanının yükseltisi 1069 ile 1316 metre arasında değişmektedir. Şefliğin alanı; 37° 35' 58"- 37° 48' 08" kuzey enlemleri ve 35° 28' 41" - 35° 42' 11" doğu boylamları arasında konumlanmıştır (Görsel 1, 2).



Görsel 1. Adana ili Kozan ilçesi



Görsel 2. Çalışma alanı

Büyüklüğü: Meydan Orman İşletme Şefliği'nin sahip olduğu genel alan 21.083,8 ha'dır. Şefliğin toplam ormanlık alanı 17.519,2 ha olup, bu alanın 10.599,4 ha'ı verimli (prodüktif) orman, 6.919,8 ha'ı verimsiz ormanlık alandır. Ayrıca diğer ormansız alan (ziraat, orman içi ve dışı açıklık, iskân vb.) 3.564,6 ha'dır.

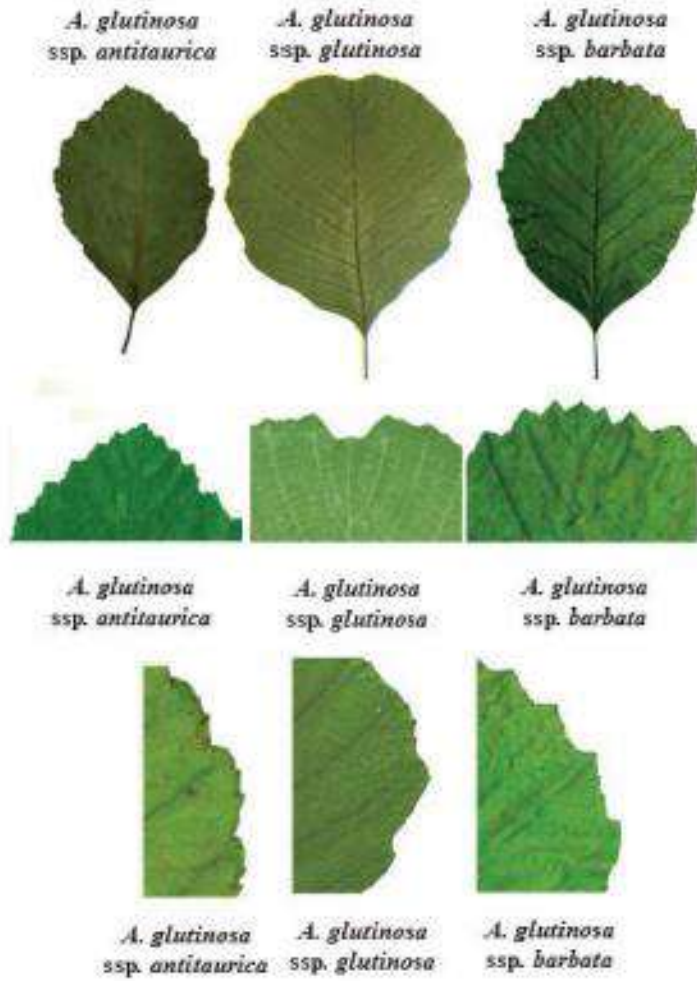
2.2. Materyal

Araştırmanın materyalini Toros Kızılağacı bireyleri oluşturmaktadır. *Alnus glutinosa* türünün bir alttürü olan bu takson diğerlerinden tomurcuklarının ve yaprak saplarının beyaz tüylü; yaprak altlarının boz tüylü olması ile ayrılır. (Davis 1965-85; Davis vd. 1988, Anşin ve Özder, 1993; Güner vd., 2000, Anşin ve Özkan, 2006; Güner vd., 2021; Aksoy, 2018; Palabaş Uzun ve Terzioğlu, 2019).

Alnus glutinosa (L.) Gaertner, Fruct. et Sem. 2:54, t. 90 (1790).

20(-30) m'ye kadar boylan bir ağaçtır. Kabukları koyu kahverengi ve çatlaklıdır. Genç sürgünleri yapışkan, tüysüz veya \pm tüylüdür. Yapraklar ters yumurtamsı ila yarı dairesel veya genişçe dikdörtgen-eliptik, 3,5-13 x 3-11 cm, kıvrık, çift sıralı dişli, tepede yuvarlak veya hafif sivri, tabanda genişçe kama şeklindedir. Yaprak damar koltuklarındaki tüy demetleri hariç genellikle tüysüzdür veya alt yüzey tamamen yumuşak ipeksi (piloz) tüylüdür. 4-11 çift yan damarları mevcuttur. Yaprak sapı (0,7-3 cm) \pm tüysüz veya yünsü tüylüdür. Meyve veren kedicikler 1-1,8 x 0,6-1,1 cm, belirgin şekilde saplıdır. Fındık meyve koyu veya kırmızımsı kahverengi, 2-3 mm, dar kanatlıdır.

1. Tomurcuklar ve yapraklar sapları beyaz tüylü; yaprakların altı boz tüylü.....**subsp. antitaurica**
1. Tomurcuklar ve yaprak sapları ve yapraklar az-çok tüysüz
 2. Gövde kabuğu, sürgünler ve yaşlı tomurcuklar beyaz veya yeşilimsi-beyaz renkte.....**subsp. betuloides**
 2. Gövde kabuğu, sürgünler ve yaşlı tomurcuklar beyaz değildir
 3. Yapraklar 4-8(-9) çift yan damarlı, ters yumurtamsı-yarı dairesel, tepesi içe girintili.....**subsp. glutinosa**
 3. Yapraklar 8-11 çift yan damarlı, geniş yuvarlak eliptik, dairemsi yavaşa ucu keskin, düz.....**subsp. barbata**



Görsel 3. Alnus glutinosa alt türleri (Colagar vd. 2016'dan değiştirilerek)

2.3. Metod

Bireylere ait çap ve boylar standart ölçüm tekniklerine göre yapılmıştır. Bunun için kumpas ve Blume-Carl Leiss boy ölçer kullanılmıştır. Ağaç yaş halkaları için ise artım burgusu ile 220 ağaçtan hem Kuzey-Güney hemde Doğu-Batı ekseninde artım kalemleri alınmış ve laboratuvar ortamında stereomikroskop altında yaş halkaları sayılmıştır. 2576 adet Toros Kızılağacının çap ve boyları tek tek ölçülmüş, basit eleme yöntemi ile 221 adetinde yaş tayini yapılmıştır.

3. BULGULAR

Yapılan ölçümler sonucunda çalışma alanında 2576 adet Toros Kızılağacı bireyi belirlenmiştir. Bunlardan 114 adeti çürük gövde, 45 adeti kuru gövde, 31 adeti yatık gövde olarak tespit edilmiş (Görsel 4) ve 12.075 adet rejenerasyon bireyi kaydedilmiştir (Görsel 5).

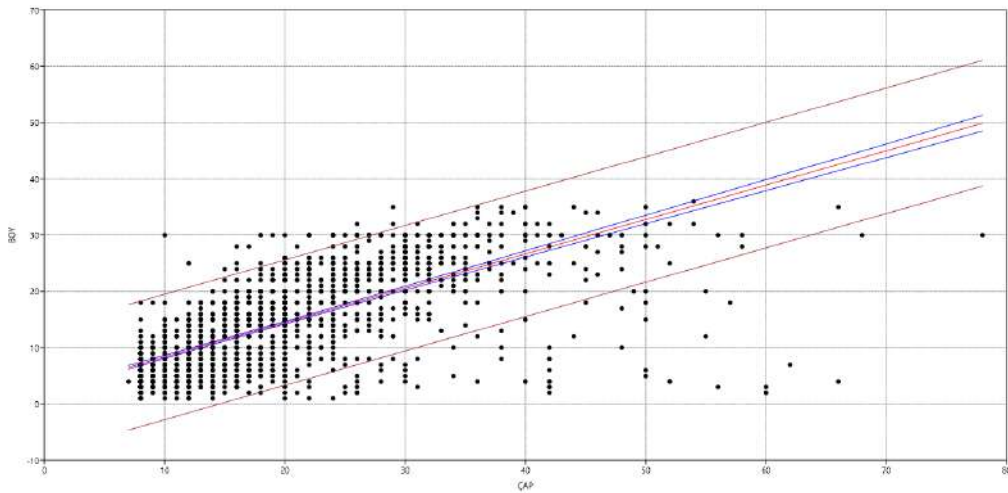


Görsel 4. Çürük, kuru ve yatık gövdeler

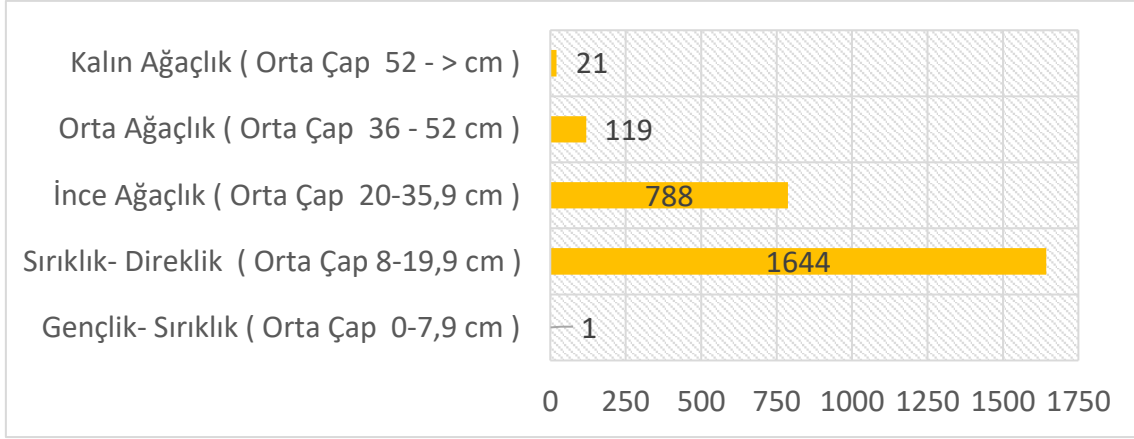


Görsel 5. Rejenerasyon bireyleri

Ayrıca ölçüm sonuçlarına göre Toros Kızılağacı bireylerine ait çap-boy ilişkisi belirlenmiştir (Görsel 6). Ölçülen çapların gelişim çağlarına dağılımı görselde sunulmuştur. Buna göre en fazla (1644) bireyin 8-19,9 cm çap aralığında kalan Sırlıklık-Direklik çağında olduğu tespit edilmiştir (Görsel 7).

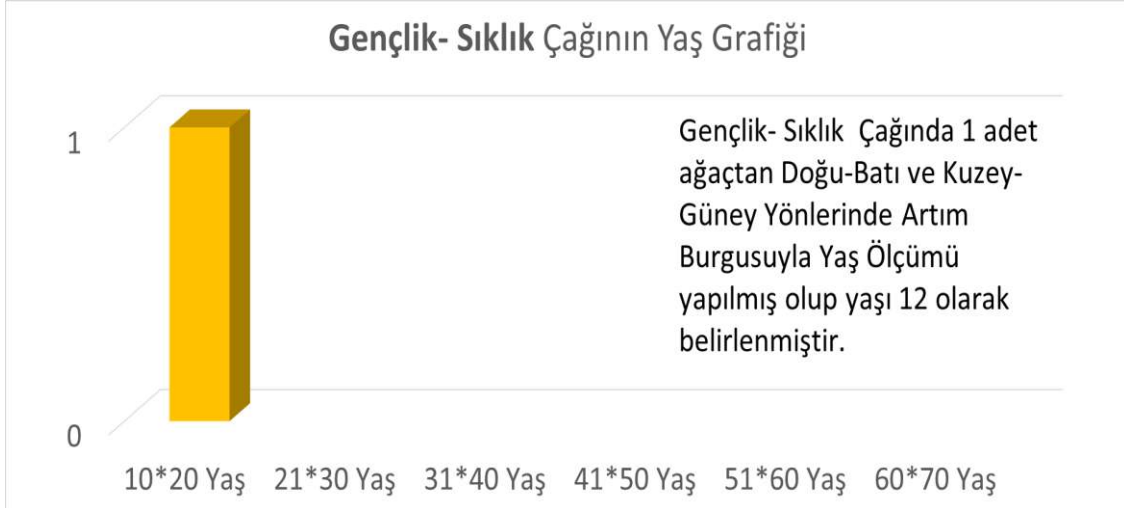


Görsel 6. Çap-boy ilişkisi

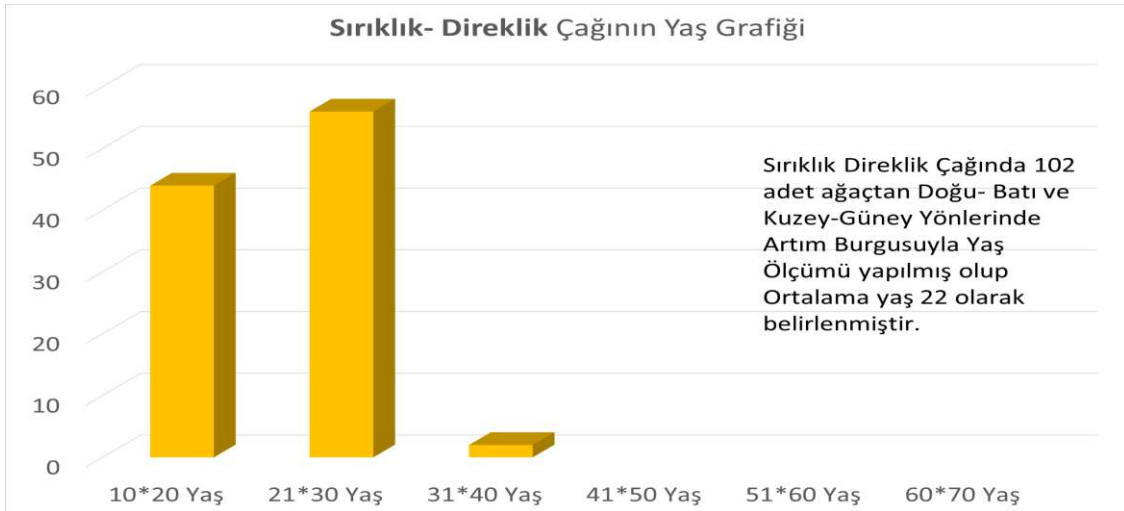


Görsel 7. Çapların gelişim çağılarına dağılımı

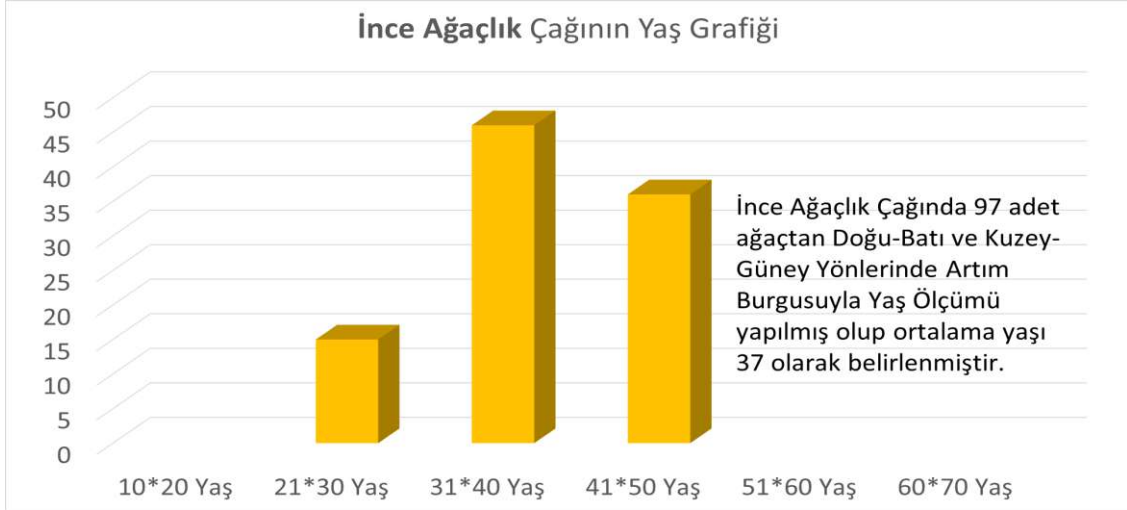
Tespit edilen yaş dağılımları görsellerde sunulmuştur (Görsel 8-12). Buna göre en fazla bireyin 21-30 yaş aralığında kaldığı, tüm ağaçların yaş ortalamasının 31 olduğu ve en yaşlı bireylerin 54 ve 64 yaşlarında olduğu tespit edilmiştir (Görsel 11-12).



Görsel 8. Gençlik-Sıklık çağının yaş grafiği



Görsel 9. Sırıklık-Direklik çağının yaş grafiği



Görsel 10. İnce ağaçlık çağının yaş grafiği



Görsel 11. Orta ağaçlık çağının yaş grafiği



Görsel 12. Kalın ağaçlık çağının yaş grafiği

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Sahada yapılan çalışmalarda ve ölçümlerde Endemik bir alt tür olan ve Koruma altına alınarak Gen Ormanı ilan edilen Toros Kızılağacının literatürde çalı formunda 6-8 metre boylandığı yazmasına rağmen düzgün silindirik gövdeler oluşturduğu ve en yaşlı bireylerinin 64 yaşına değin ulaştığı gözlemlenmiştir.

Taban suyu seviyesinin düştüğü yerlerde tepe kurumalarıyla beraber gövde çürümelerinin başladığı tespit edilmiştir. İklim koşullarındaki değişiklikler ve küresel ısınma nedeniyle alanda geçmişte sulu dere olan ancak günümüzde kuru dereye dönen ana derelerde bulunan Toros Kızılağaçlarının meşçere çökmesine giderek alandan uzaklaştığı ayrıca tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda Toros Kızılağacının koruma faaliyetlerinin arttırılarak meşçere özelinde Toros Kızılağacı lehine silvikültürel uygulamaların planlanması acil önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

1. Aksoy, N. 2018. *Alnus Miller*. (ed. Ü. Akkemik) *Türkiye'nin Doğal-Egzotik Ağaç ve Çalıları*. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara. s: 338-356.
2. Anşin, R., Özder, Z. Yeni bir kızılağaç taksonu-*Alnus glutinosa* subsp. *betuloides* (Betulaceae). *The Karaca Arboretum Magazine*, cilt II: 47-51, 1993.
3. Anşin, R., Özkan, Z.C. *Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta) Odunsu Taksonlar*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon, 450 s, 2006.
4. Ayan S., Yer-Çelik, E.N. Kastamonu'nun Doğal Zenginlikleri Sempozyumu, *Bildiriler Kitabı-CD*, s.155-160, 16-17 Ekim 2012. Kastamonu, 2012
5. Bosquet, M.I., Beaulleu, M.J., Villeneuve, M.M. *Diversité genetique et ameliaralian des arbres forestiers*. *Ordre des ingenieurs foresiers du Quebec*, *Formatian continue*, cours no: 33, encartde l'aubelle, no: 106, 12 p, 1995.
6. Colagar, A.H., Yousefzadeh, H., Shayanmehr, F., Jalali, S.G., Zare, H., Tippery N.P. *Molecular taxonomy of Hyrcanian Alnus using nuclear ribosomal ITS and chloroplast trnH-psbA DNA barcode markers*, *Systematics and Biodiversity*, 14:1, 88-101, 2016.
7. Davis, P.H. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Vol I-IX.*, University Press, Edinburgh, 1965-85.
8. Davis, P.H., Harper, P.C., Hedge, I.C. *Plant Life of South-West Asia*. The Botanical Society of Edinburgh, 1971.
9. Davis, P.H., Mill, R.R., Tan, K. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Vol. X, Supplement*, University Press, Edinburgh, 1988.
10. Demirci, E., Akten, M. Kovada Gölü Milli Parkı'nda yönetimsel ve ziyaretçi kaynaklı sorunların tespiti ve çözümüne yönelik öneriler. *Turkish Journal of Forest Science*, 8(2), 86-107, 2024.
11. Dirik, H. Genetik çeşitlilik ve orman gen kaynaklarının korunması. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 44(3-4), 113-122, 1994.
12. Dirik, H. *Kent Ağaçlarının Yönetimi, Kent ağaçlandırmaları ve İstanbul*, 1997.

13. Ekim T, Koyuncu M, Vural M, Duman H, Aytaç Z, Adıgüzel N. *Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı (Red Data Book of Turkish Plants Pteridophyta and Spermatophyta)*. Barışcan Ofset, Ankara, 246 s, 2000.
14. Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T., Başer, K.H.C. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Vol. XI, Supplement – II*, University Press, Edinburgh, 2000.
15. Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., Babaç, M.T. *Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, İstanbul, 2021.
16. Palabaş Uzun, S., Terzioğlu, S. Sisdığı (Şalpaزاری/Trabzon) ve yöresinin florası. *Duzce University Journal of Science and Technology*, 7(3), 1523-1573, 2019.
17. Palabaş Uzun, S., Uzun, A., Terzioğlu, S. Orman ekosistemlerinde habitat parçalanmaları ve biyolojik çeşitlilik üzerine etkileri, *KSÜ Doğa Bil. Der. (Özel Sayı)* s. 136-144, 2012.
18. Tunçtaner, K. Sustainability of Industrial Forest Plantations in Turkey, -In *Proceedings of Establishment of Industrial Plantation in Turkey, International Workshop, TEMA and Ministry of Environment and Forestry, Poplar and Fast Growing Forest Tree Research Institute, İzmit*, pp. 15-31, 2003.
19. Tunçtaner, K. *Orman Genetiği ve Ağaç Islahı*. Türkiye Ormancılar Derneği Eğitim Dizisi: 4, Ankara, 364 s., 2007.
20. Uzun, A., Terzioğlu, S., Palabaş Uzun, S. Orman ekosistemlerinde biyoçeşitliliğin korunması ve izlenmesi, *KSÜ Doğa Bil. Der. (Özel Sayı)* s. 126-135, 2012.
21. Yıldırım, N., Turna, İ., Yıldırım, N., Sakallı kızılğaç (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata*) meşceresinin doğal yolla gençleştirilmesi (Harşit Orman İşletme Şefliği örneği). *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 21(2), 154-163, 2020.
22. Yılmaz, M. Türk kızılğacı (*Alnus orientalis* Decne.)'nın tohum özellikleri. *Ağaç ve Orman*, 1(1), 58-65, 2020.
23. Yılmaz, T., Yılmaz, M. Doğu Akdeniz Bölgesindeki relikt kızılğaç (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) popülasyonlarının tohum özellikleri, *Turkish Journal of Forest Science*, 5(1), 150-164, 2021.
24. Zar, H., Amini, T. A review of the genus *Alnus* Gaertn. in Iran, new records and new species. *Iranian Journal of Botany* 18(1): 10-21, 2012.

TÜRKİYE’DE YETİŞEN EGZOTİK BİTKİLERİN MEYVE TİPİ VE TOHUM ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Doç. Dr. Alper Uzun

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği
Bölümü, Orman Botaniği, Kahramanmaraş, Türkiye
auzun@ksu.edu.tr, 0000-0002-2577-7460

Doç. Dr. Seyran Palabaş Uzun

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği
Bölümü, Orman Botaniği, Kahramanmaraş, Türkiye
seyran@ksu.edu.tr, 0000-0001-7090-4804

ÖZET

Bu çalışmada Türkiye’de yayılışı bulunan 72 familyaya ait 239 egzotik (yabancı yurtlu) bitki taksonunun meyve tipleri ve tohum özellikleri araştırılmıştır. Bu taksonların familyaları belirlenmiş ve her bir taksonun meyve tipi araştırılarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak incelenen taksonlar içerisinde 14 adeti kozalaklıdır. Meyve oluşturan taksonlar ise; Kapsül meyveye sahip 83 takson, Aken meyve tipine sahip 46 takson ve Üzümsü (Berry) meyve tipine sahip 23 takson ilk üç sırayı oluşturmaktadır. Ayrıca, Bakla (legümen) meyve (17) takson, Şizokarp (16) takson, Çekirdekli sulu-eriksi (Drupa) meyve (10) takson, Pepo (7) takson, Folikül meyve (5) takson, Nus meyve (5) takson, Utricle (4) takson, Aken (cypsela) meyve (3) takson, Silikula (3) takson, Silikuva (2) takson, Partenokarp meyve (1) takson’dur. Bu taksonların tohum özellikleri de çalışmada sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Egzotik, yabancı yurtlu bitki, meyve tipi, tohum özelliği, Türkiye

2. GİRİŞ

1.1. Egzotik Bitki Nedir

Egzotik bitkiler asıl yaşam ortamının dışına bilerek ya da bilmeyerek getirilmiş ve burada yaşamını devam ettirmeye başlamış türlere verilen isimdir. Yerel olmayan bitki çeşitleri girmiş oldukları ekosistemler üzerinde farklı etkiler sergileyebilirler. Getirildikleri bölge haricine de yayılmış olan egzotik bitki çeşitleri istilacı olarak adlandırılır. Egzotik bitkilerin etkileri son derece farklılık gösterebilir. Bazı egzotik bitkilerin girdikleri ekosistem üzerinde yıkıcı ve olumsuz etkileri görülebilirken bazıları ya etkisiz olur ya da önemsenmeyecek derecede etki gösterir. Bazı egzotik bitkiler, zararlılar ile başa çıkabilmek için bilinçli bir şekilde ekosistemlere getirilmiştir. Biyolojik mücadelede kimyasal pestisitlerin yerine tercih edilen bu türler tarım için faydalı olarak görülebilirler. Bazı hallerde ise uzun süreçte etkilerin olumlu mu olumsuz mu olacağı hakkında tam olarak bir bilgi mevcut değildir.

1.2. Meyve

Döllenmeden sonra ovaryumun gelişerek ve farklılaşarak oluşturduğu yapıya meyve adı verilir. Ovaryumda karpel diye adlandırılan meyve yaprakları, meyve meydana geldikten sonra “perikarp” (meyve çeperi) adını alır. Karpellerin gelişmesiyle meydana gelen meyvelere “gerçek meyve” denir. Bunun dışında meyve oluşumuna karpelin yanı sıra çiçek tablası, hipantium veya periant gibi çiçek kısımlarının katılmasıyla meydana gelen meyvelere “yalancı meyve” adı verilir. Genel anlamda döllenme olmaksızın tohum ve meyve gelişmezse de bazı hallerde tohumuz meyve gelişimi de görülmektedir. Bunlara “partenokarp” meyve denir. Meyveleri tanımlara göre gerçek meyveler, yalancı meyveler ve partenokarp meyveler olarak üçe ayırmak mümkündür.

1.3. Gerçek Meyveler

Gerçek meyveler bir çiçeğe ait tek bir ovaryumun gelişmesiyle meydana gelir. Bu ovaryum tek karpelden veya birden fazla karpelden yapılmış olabilir. Çiçekte, esas itibariyle epiderma, parankima ve iletim dokusundan yapılmış olan karpel, meyve gelişirken büyük değişikliğe uğrayarak “Perikarp” (meyve çeperi) yapısını meydana getirir. Perikarpta genellikle dıştan içe doğru eksokarp (veya epikarp), mezokarp, endokarp olmak üzere üç bölge ayırt edilmektedir. Meyvelerde perikarp ya genellikle sukkulent (etli) “parankima” hücrelerinden yapılmıştır, ya da sukkulent olmayan parankima ile birlikte “sklerankima” hücrelerinden oluşmuştur. Bu farktan ötürü “ etli meyveler” ve “kuru meyveler” olmak üzere iki kısma ayrılır (Spjut, 1994).

1.3.1. Etli Meyveler

Etli meyveler genellikle iki tipte bulunur:

• **Baka (Üzümsü meyve):** Bütün perikarp etlidir. *Vitis vinifera* (üzüm), *Solanum esculentum* (domates)

• **Drupa (Çekirdekli sulu meyve, eriksi meyve):** Yalnız endokarp sert bir yapı gösterir. *Prunus domestica* (Erik), *Cerasus vulgaris* (Vişne) *Cerasus avium* (Kiraz), *Persica vulgaris* (Şeftali)

1.3.2. Kuru Meyveler

Kuru meyveler ya açılıp tohumlarını dışarı atarlar ve bunlar genel olarak birden fazla tohum taşır. Ya da sertleşmiş haldeki perikarp açılmadan kalır ve bunlar genel olarak tek tohumludur. Bu meyveler iki grupta toplanır; açılan kuru meyveler ve açılmayan kuru meyvelerdir.

1.3.2.1 Açılan Kuru Meyveler

Tamamen perikarbi sertleşmiş bu meyveler açılış biçimlerine göre üç grupta toplanır.

• **Folikül:** Apokarp ginekeumlu çiçeklerde, her bir bağımsız pistilden meydana gelen meyveye folikül denir. Foliküller karpellerin birleşme yerinden bir yarıkla açılır. Örnek olarak *Hellborus sp.* (çöpleme) veya *Eranthis sp.* Verilebilir.

• **Legümen meyve:** Tek karpelden meydana gelen, olgunlaştığında karpelin hem birleşme yerinden hem de sırt kısmında iki yarıkla açılan meyvelerdir. Bu tip meyvelere *Phaseolus vulgaris* (fasulye), *Pisum sativum* (bezelye), *Vicia faba* (bakla) gibi Fabaceae (Baklagiller) familyası üyeleri için karakteristiktir.

• **Kapsül:** Genel olarak birden fazla karpelden oluşmuş sinkarp ovaryumdan meydana gelen meyvelerdir.

1. **Septisit Kapsül:** Açılma karpellerin birleşme yerlerinde gerçekleşir. Ör: *Crocus sp.* Meyvesi.
2. **Lokulisit Kapsül:** Karpellerin sırt tarafından açılan meyvelerdir. Ör: *Viola* (menekşe) meyveleri
3. **Dentisit Kapsula:** Kapsülün tepe kısmında bulunan kısa dış şeklindeki yarıklarla açılan meyvelerdir. Ör: *Dianthus* (karanfil) meyvesi
4. **Porisid Kapsül:** Kapsüllerin tepe kısmında delikler ile açılan meyvelerdir. Ör: *Papaver* (Haşhaş) meyveleri
5. **Piksid Kapsül:** Kapsül bir kapakla açılır. Ör: *Anagallis* (Fare kulağı), *Lysimachia sp.*
6. **Sentifragal Kapsül:** Lokulisit olan bir meyvede birleşmiş olan karpellerin iç kısmı bir sütun halinde kalırken, karpellerin tohum taşıyan dış kısımları tabandan itibaren birbirinden ayrılarak yukarı kalkar ve tohum dışarı atılır. Ör: *Geranium* (Turna gagası) ve *Erodium* (Dönbaba) meyveleri.
7. **Silikuva ve Silikula:** İki karpelden oluşan ovaryum sekonder bir bölme ile iki odaya ayrılmıştır. Olgunlaştığı zaman iki karpel kapak halinde yarılarak tohumları taşıyan sekonder bölmeden ayrılır. Ör: Brassicaceae (Hardalgiller) familyası için karakteristik olan bu meyvede meyvenin boyu eninin üç katından fazla ise silikuva, değilse silikula adı verilir. Silikuva'ya örnek olarak *Brassica*, *Hesperis*, *Silikula*'ya *Aethionema*, *Alyssum*, *Fibigia* örnek olarak verilebilir.

1.3.2.2. Açılmayan Kuru Meyveler

Bu meyvelerde tohum perikarpın içinde açılmadan kalır. Ancak meyve toprağa düştükten sonra perikarpın çürümesiyle meyve çimlenir. Bu grupta beş çeşit meyve den söz etmek mümkündür.

• **Nuks (Fındıksı meyve):** Genel olarak tek tohum taşıyıp açılmayan meyvelere denir. Perikapları odunlaşmıştır. *Corylus avellana* (Fındık), *Juglans regia* (Ceviz), *Amygdalus sp.*(badem)

• **Aken (Kapçık meyve):** Alt durumlu ovaryumdan meydana gelen tek tohumlu, perikarpı tohuma sıkıca sarılmış ama testadan ayrı meyvelerdir. Ör: *Helianthus annuus* (Ayçiçeği), *Cucurbita sp.* (Kabak).

• **Karyopsis (Buğdaysı meyve):** Üst durumlu ovaryumdan gelişen tek tohumlu, perikarbi testa ile ayrılmayacak şekilde sıkıca birleşmiştir. Bu meyvelere tane de denir. Poaceae (Buğdaygiller) familyası için tipiktir. Ör: Triticum (Buğday).

• **Şizokarp (Yarılan meyve):** Sinkarp ovaryumdan oluşan meyveler birleşme yerlerinden veya bölmelerden yarılarak toprağa düşer. Apiaceae, Malvaceae ve Lamiaceae familyası meyveleri örneklerdir.

• **Segmental (Kırılan meyveler):** Bir veya daha fazla karpelden oluşmuş meyvelerin tek tohum taşıyan her bir segmenti enine veya boyuna kırılarak ayrılan meyvelerdir. Ör: Ceratonia silyqua (Keçiboynuzu).

Yalancı meyveler başta da belirtildiği gibi meyve oluşumun ovaryumun yanı sıra çiçeğin diğer elemanlarının dan (çiçek ekseni, brakte, periant) bir veya bir kaçının katılmasıyla oluşan meyvelerdir. Yalancı meyveler basit, agregat veya bileşik meyve şeklinde olabilir. Basit yalancı meyveler ovaryum gelişmesinin yanı sıra hipantiyum ya da periantın da meyve oluşumuna katılmasıyla ortaya çıkan yapılardır. Örneğin, özellikle Rosaceae familyasında bu tip meyveler pom (elmamsı) olarak bilinir. Agregat meyveler tek çiçekte bulunan çoklu ovaryumun gelişip farklılaşmasıyla ortaya çıkan meyvelerdir. Örneğin, Fragaria (çilek), Rubus (Böğürtlen). Bileşik meyveler, birden fazla çiçekten meydana gelmiş meyvelerdir. Bu duruma en iyi örnek Ficus carica (incir); burada hipantiyum çanak şeklini alarak ve hızla gelişerek içindeki çiçekleri döllenmeden sonra sarar ve birden fazla çiçekli yalancı meyveyi oluşturur. Bunun tam tersi Morus (Dut) da ise çok çiçekli bir meyvedir. Çiçek kurulundaki her bir çiçeğe ait periant etlenerek ve ovaryumlar gelişerek nuks tipi bileşik meyveleri oluşturur. Bir diğer yalancı meyve tipi ananasta görülür. Buralarda etlenmiş eksen ve çiçeklerin brakteleri bakka tipindeki meyvelerin yapısına iştirak ederek bişelik yalancı meyve meydana getirmiştir (Spjut, 1994).

1.2. Tohum

Tohum taslağının döllenmeden sonra gelişip olgunlaşmasıyla meydana gelir. Tohumların morfolojik özellikleri ve anatomik farklılıklar sistematik ayrımlarda önem arz eder. Bir tohuma dıştan bakıldığında ayırt edici özellikler olarak şunları sıralamak mümkündür: Tohumun şekli, boyutu, tohum kabuğunun yüzey özellikleri, hilumun yeri, arillus (funikulusun dışa doğru genişlemesiyle ortaya çıkan yapı), karunkula (mikropile yakın entigümentlerin etlenmesiyle oluşmuş çıkıntı) Bunların yanı sıra tohum içyapılarında önemli içyapılarında da önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Özellikle endosperma, perisperma ve kotiledların gelişmesiyle ilgili olarak tohumlar üç grupta değerlendirilmiştir.

1. **Endospermalı tohumlar:** Bu tohumlar döllenme sırasında sekonder çekirdekler denilen nükleusların polenden gelen ikinci döller çekirdekle birleşip oluşan triploid hücrenin mitozla çoğalması sonucu ortaya çıkan maddeleridir. Örnek Ricinus (Hintyağı) Triticum (Buğday), Helianthus annuus (Ayçiçeği) v.s

2. **Perispermalı tohumlar:** Tohum taslağındaki temel doku olan nusellusun gelişip farklılaşmasıyla ortaya çıkan bir yapıdır. Örnek *Beta vulgaris* (Pancar), *Agrostemma* (Karamuk) verilebilir.
3. **Kotiledonları besin depolayan tohumlar:** Birçok bitki türünde besi doku yoğun gelişmez. Bunun yerine kotiledonlarda tohumun çimlenmesi için gerekli olan nişasta benzeri besinler depolanır. Örnek *Phaseolus vulgaris* (Fasülye), *Cicer* (Nohut) berilebilir. Tohum içerisinde polen tübündeki iki spermadan biri olan generatif çekirdek tohum taslağındaki yumurta ile birleşerek zigotu meydana getirir. Bu zigotun ard arda mitozla bölünmesiyle genç bir embriyo teşekkül eder. Bu embriyoda şu kısımlar ayırt edilir;
 - **Kotiledon veya çenek** (Yapraksı yapı)
 - **Plumula:** Gövdeyi verecek olan meristem bölgesi
 - **Radikula:** Kökü verecek olan meristem bölgesi
 - **Hipokotil:** Kotiledonların alt tarafındaki kısa eksen
 - **Epikotil:** Kotiledon ile Plumula arasındaki kısa eksen.

5. MATERYAL VE METOD

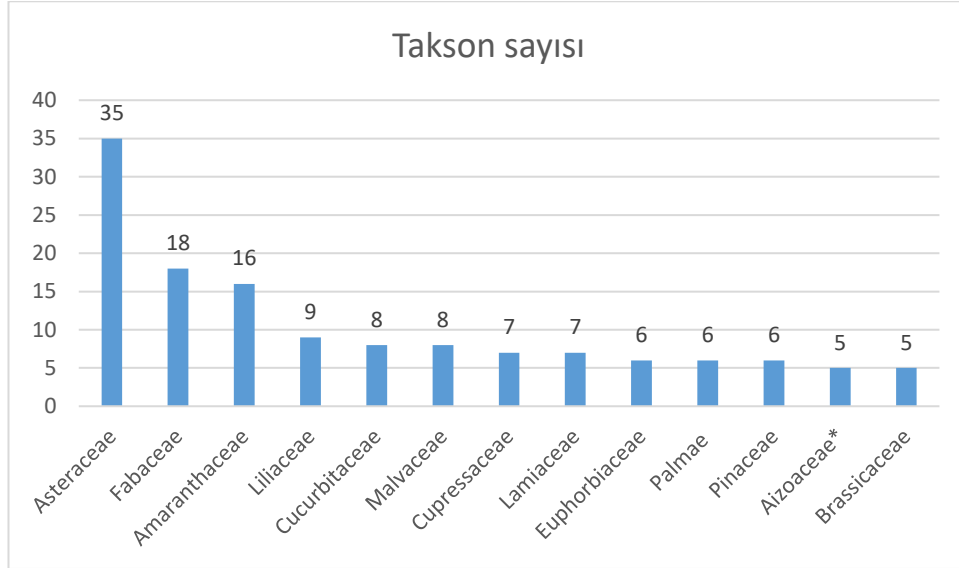
Bu çalışmanın ana materyalini Türkiye’de egzotik olarak yetişen bitki taksonları oluşturmaktadır. Egzotik bitkiler gerek Türkiye florası gerekse bugüne kadar yayınlanmış bilimsel makalelerden listelenmiştir. Oluşturulan listede Türkiye’de yayılış gösterdiği bilinen 426 adet egzotik / yabancı yurtlu bitki taksonu belirlenmiştir. Bu taksonlar içinden ise 239 egzotik taksonun meyve tipi ve tohum özellikleri araştırılmıştır. 187 takson ile ilgili çalışmalar ise halen devam etmektedir.

Bitki adları ve tohum özellikleri, World Online Flora (WOF, 2024), Kew-Plants of the World Online (POWO, 2024), The Plant List (2013'ten itibaren) ve Euro+Med Plantbase (2006-) gibi çevrimiçi botanik veri tabanlarından ve esas olarak bölgesel flora çalışmalarından elde edilmiştir; Flora Orientalis (Boissier, 1867-88), Avrupa Florası (Tutin ve diğ., 1964-1980), Rusya Florası (Komarov 1934-1978), Çin Florası (Wu ve diğ. 1999-2006), Meksika Florası (Sánchez, 1980), Türkiye Florası (Davis 1965-1985; Davis ve diğ. 1988; Güner ve diğ. 2000, Güner ve diğ. 2012), İran Florası (Rechinger, 1965-1977). Ek olarak, çok sayıda yayınlanmış makale ve check listler de dahil olmak üzere geniş bir literatür taraması da yapılmıştır (Weber, 1997; Bojnanský ve Fargašová, 2007; Coşkunçelebi vd., 2007; Vural vd., 2008; İnceer vd., 2012; Yazlık vd., 2014; Sevfi vd., 2017; Uludağ vd., 2017; Yıldırım vd., 2019; Palabaş Uzun vd., 2020; Terzioğlu, 2020; Yılmaz, 2021; Tunçkol vd., 2022; Uzun ve Verloove, 2023; Uzun ve Palabaş Uzun, 2024).

Meyve tipleri olarak; Kapsül (Capsule), Aken (Achene), Üzümsü (Berry) meyve, Karyopsis (Caryopsis) meyve, Bakla (Legumen) meyve, Çekirdekli sulu-eriksi (Drupa) meyve, Şizokarp meyve, Nus meyve, Üzümsü (Pepo) meyve, Folikül meyve, Silikula ve Silikuva meyve, Samara (Kanatlı nus) meyve, Cypsela meyve, Yalancı meyve, Bileşik meyve, Hesperidium meyve, Partenokarp meyve, Agregat meyve bulunmaktadır.

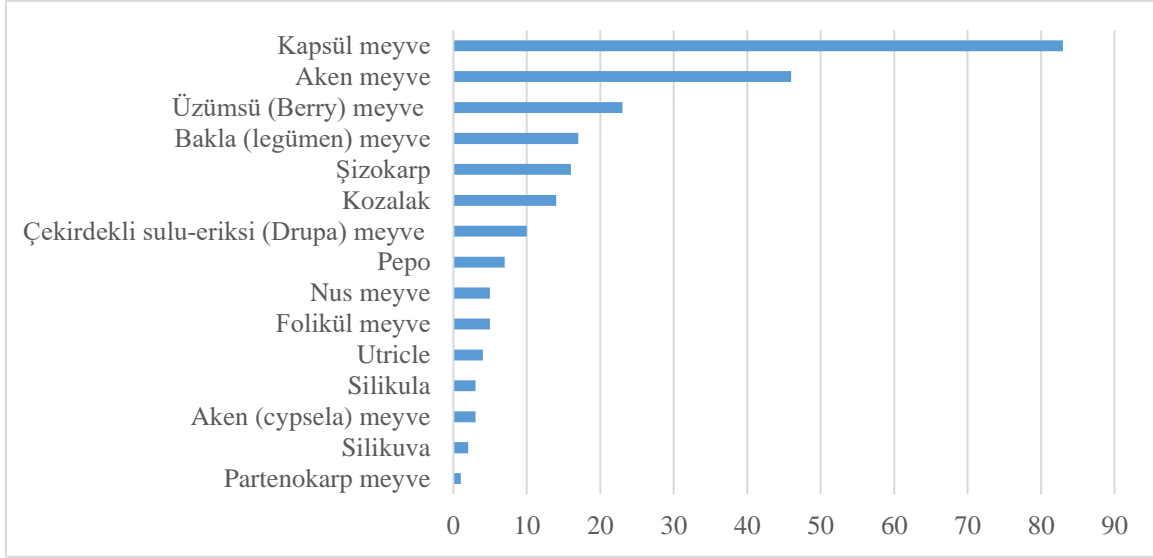
6. BULGULAR

Bu çalışma kapsamında araştırılan 239 egzotik taksona ait familya adları, bilimsel adları, Türkçe adları, meyve tipleri, tohum ölçüleri ve özellikleri alfabetik sıralamaya göre aşağıda sunulmuştur. Bu taksonlardan en zengin familyalar Asteraceae, Fabaceae ve Amaranthaceae olarak sıralanmaktadır.



Görsel 1. Familya sıralaması

İncelenen taksonlar içerisinde 14 adeti kozalaklıdır. Meyve oluşturan diğer taksonlar ise; Kapsül meyveye sahip 83 takson, Aken meyve tipine sahip 46 takson, Üzümsü (Berry) meyve tipine sahip 23 takson, Bakla (legümen) meyve (17) takson, Şizokarp (16) takson, Çekirdekli sulu-eriksi (Drupa) meyve (10) takson, Pepo (7) takson, Folikül meyve (5) takson, Nus meyve (5) takson, Utricle (4) takson, Aken (cypsela) meyve (3) takson, Silikula (3) takson, Silikuva (2) takson, Partenokarp meyve (1) takson bulunmaktadır (Görsel 2).



Görsel 2. Meyve tipleri sıralaması

Çizelge 1. Bitki tablosu

	Bilimsel Adı	Familya	Türkçe adı	Meyve Tipi	Tohum Özelliği
1	Abelmoschus esculentus L.	Malvaceae	(Bamya)	Kapsül meyve	Müsilajla kaplı yenilebilir beyaz tohumlar tohum pürüzsüz veya belirgin işaretler yok
2	Abryanthemum acinaciforme	Aizoaceae*	(Buz çiçeği)	Kapsül meyve	Küçük ve nispeten göze çarpmayan. Tipik olarak yuvarlak veya hafif uzun şekillidirler ve renkleri açık kahverengiden koyu kahverengiye veya siyaha kadar değişir.
3	Abutilon theophrastii Medik.	Malvaceae	(İmam kavuğu)	Şizokarp meyve	3-3,5 mm tohumun üzerinde kıllar var Tohumun üzerinde kabarcıklar var
4	Acacia dealbata Link	Fabaceae	(Gümüşi Akasya)	Bakla (legümen) meyve	Tohum siyahtır ve 4-6 x 2-3 mm boyutlarında dikkörtgendir. Tohum yüzeyi genellikle pürüzlü veya hafif tırtıklı olabilir.
5	Acacia longifolia Willd.	Fabaceae	(Uzun akasya)	Bakla (legümen) meyve	Genellikle küçüktür, 3-6 mm uzunluğunda ve genellikle oval veya yuvarlak şekildedir. Tohum yüzeyi genellikle düzgün veya hafifçe tırtıklı olabilir.

6	<i>Acalypha australis</i> L.	Euphorbiaceae	(Burtam)	Kapsül meyve	1,5–1,8 mm, çok küçük çekirdekleri çıkarılmış.
7	<i>Acanthus mollis</i> L.	Acanthaceae	(Ayı pençesi)	Kapsül meyve	8-10 mm koyu kahverengi. Tohumlar sert, hafif buruşuk bir tohum kabuğuna sahiptir ve şekilleri oval ve basıktır.
8	<i>Acer negundo</i> L.	Aceraceae	(Dişbudak yapraklı akçaağaç)	Şizokarp (tek tek samara) meyve	Tek bir buruşuk tohum içeren nus.
9	<i>Acorus calamus</i> L.	Araceae	(Hazanbel / Eğir kökü)	Üzümü (Berry) meyve	1-3 dikdörtgen
10	<i>Agave americana</i> L.	Agavaceae*	(Amerikan sabırı)	Kapsül meyve	Tohumlar 6-8 mm uzunluğunda) siyah renkli ve parlak görünümündedir.
11	<i>Agrostemma githago</i> L.	Caryophyllaceae	(Karamuk)	Kapsül meyve	Yumurtamsı ya da böbreksi ve 2,5 ila 3 mm uzunluğundadır.
12	<i>Allium cepa</i> L.	Liliaceae	(Soğan)	Kapsül meyve	2-4 mm uzunluğunda tohumların yüzeyi pürüzsüzdür. Tohumun iç kısmında embriyo bulunur.
13	<i>Allium porrum</i> L.	Liliaceae	(Pırasa)	Kapsül meyve	Genellikle 2-3 mm uzunluğunda tohumun iç kısmında embriyo bulunur. Tohumların yüzeyi pürüzsüz ve hafif parlak olabilir.
14	<i>Allium sativum</i> L.	Liliaceae	(Sarımsak)	Kapsül meyve	Küçük, yuvarlak veya hafif eliptik, siyah veya koyu kahverengi renkte.
15	<i>Allium triquetrum</i> L.	Liliaceae	(Yitik soğan)	Kapsül meyve	6-7 mm uzunluğunda, siyah dikdörtgen tohumlu.
16	<i>Aloe vera</i> (L.) Burm.	Liliaceae	(Sarı sabır)	Kapsül meyve	1 ila 2 mm boyutlarında ve kahverengi renktedir. Tohumların yüzeyi pürüzlü veya hafif kırışık olabilir. Tohumların iç yapısında, embriyo ve endosperm adı verilen besin deposu bulunur.
17	<i>Alternanthera sessilis</i> (L.) DC.	Amaranthaceae	(Brezilya Ispanağı)	Kapsül meyve	Tohum disk şeklinde yaklaşık 1 mm çapında
18	<i>Amaranthus albus</i> L.	Amaranthaceae	(Beyaz horoz ibiği)	Septifragal Kapsül	Tohum: 1 [2+], küçük, merceksi ila küresel,

					pürüzsüz veya noktalı ile çizgili veya yumrulu.
19	<i>Amaranthus blitoides</i> S.Wats	Amaranthaceae	(Sürünücü Horoz İbiği)	Septifragal Kapsül	Tohum 1,3-1,5 mm, yuvarlak obovat, siyah, pek parlak değil. 1000 tohumun kütlesi 0,5-0,6 g'dı
20	<i>Amaranthus blitum</i> L.	Amaranthaceae	(Horoz ibiği çiçeği)	Utricle	Tohum küreseldir, sıkıştırılmıştır, çapı 1 ila 1,75 mm'dir, rengi koyu kahverengi veya siyahtır, merkezi hafif çapraz bağlı ve parlaktır, kenar kısmı daha donuktur, ağ yapısının üzerinde ince noktalı veya pürüzlüdür.
21	<i>Amaranthus caudatus</i> L.	Amaranthaceae	(Uzum ibik)	Septifragal Kapsül	Koyu kahverengi ile kahverengimsi siyah veya kırmızımsı kahverengi, sarımsı beyaz veya fildişi, merceksi ile neredeyse küresel, 1-1,2(-1,5) mm çapında, pürüzsüz veya belirsiz noktalı.
22	<i>Amaranthus chlorastachys</i> Willd.	Amaranthaceae	(Bazı horozibiği)	Septifragal Kapsül	Tohumlar siyah ile koyu kırmızımsı kahverengi, merceksi ile merceksi-küresel, 1-1,3 mm, pürüzsüz, parlak, kenar çevresinde hafifçe ağsı. Embriyo U şeklindedir, testanın hemen içindedir ve endospermi çevreler veya içine alır..
23	<i>Amaranthus crassipes</i> Schldl.	Amaranthaceae	(Boduribik)	Utricle	Küçük (1-1.5 mm çapında), yuvarlak ve düz; siyah, kahverengi veya koyu kırmızı renkte; pürüzsüz ve parlak yüzey.
24	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	Amaranthaceae	(Horozibiği çiçeği)	Septifragal Kapsül	Tohumlar küçük, yaklaşık 1-1.5 mm çapında, yuvarlak ve düz bir yapıya sahiptir. renkleri genellikle parlak siyah, koyu kahverengi veya beyaz olabilir. Tohumlar hafif olup, çok sayıda üretilir.

25	<i>Amaranthus deflexus</i> L.	Amaranthaceae	(Sarkıkibik)	Utricle	Tohumlar çok koyu kahverengiden siyaha kadar, 1-1,2 mm çapında, parlak, meyvenin yalnızca proksimal kısmını dolduruyor.
26	<i>Amaranthus hybridus</i> L. var. <i>hybridus</i>	Amaranthaceae	(Karagöz mancarı)	Kapsül meyve	Tohumlar oldukça küçüktür, genellikle 1-2 mm çapındadır. Yuvarlak ve hafif yassıdır. Tohum kabuğu ince ve serttir.
27	<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.	Amaranthaceae	(Galler prensi / Prens tüyü)	Kapsül meyve	Tohumlar beyaz, neredeyse küremsi, yaklaşık 1 mm çapında Yuvarlak ve hafif yassıdır. Tohum kabuğu ince, ancak dayanıklıdır.
28	<i>Amaranthus palmeri</i> S. Watson	Amaranthaceae	(Dev horozibiği)	Utricle	Tohum siyah ve parlak, sıkıştırılmış, c. 1 mm., merkezi neredeyse pürüzsüz, kenarlarda hafifçe ağsı.
29	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Amaranthaceae	(Kaba tüylü solmaz çiçek)	Kapsül meyve	Tohumlar kahverengimsi siyah, yarı küremsi veya obovoid, yaklaşık. 1 mm çapında. Tohumlar parlak.
30	<i>Amaranthus tricolor</i> L.	Amaranthaceae	(Yusuf hırkası)	Kapsül meyve	Tohumlar kahverengimsi siyah, yarı küremsi veya obovoid, yaklaşık. 1 mm çapında. Tohum yüzeyi genelde pürüzlüdür bazılarında kabartmalar olabilir
31	<i>Amaranthus viridis</i> L.	Amaranthaceae	(Yeşil ibik)	Aken meyve	Tohumlar siyah veya koyu kahverengi, neredeyse küremsi ile kalın mercekli, 1 mm çapında, çok az noktalı, oldukça donuk.
32	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	Asteraceae	(Arsiz zaylan)	Aken meyve	3-4 mm uzunluğunda
33	<i>Ambrosia tenuifolia</i> Spreng.	Asteraceae	(İnce zaylan)	Aken meyve	Tohumları kancalı dikenli.
34	<i>Ammannia x coccinea</i> Rottb.	Lythraceae	(Kızılamanotu)	Kapsül meyve	Tohumlar çok sayıda, neredeyse oval, yaklaşık. 0,4 mm uzunluğunda, sarımsı kahverengi.

35	<i>Aptenia cordifolia</i> (L.f.) Schwantes	Aizoaceae*	(Buz çiçeği)	Kapsül meyve	Pürüzlü bir yüzeye sahip büyük bir siyah-kahverengi tohum bulunur.
36	<i>Arachis hypogaea</i> L. *	Fabaceae	(Yer fıstığı)	Bakla (legümen) meyve	Her tohum ince, kağıt gibi bir tohum kabuğuyla kaplıdır. Tohum yüzeyi genellikle pürüzsüz ve düzgün 1 ila 2 cm uzunluğunda ve 1 ila 1.5 cm genişliğinde
37	<i>Araujia sericifera</i> Brot.	Asclepiadaceae	(Ağaç bamyası)	Folikül meyve	Tohumlar 4-8 mm uzunluğunda ve tepelerinde 20-30 mm uzunluğunda uzun beyaz ipeksi tüylerden oluşan bir tutam bulunur.
38	<i>Artemisia dracunculoides</i> L.	Asteraceae	(Tarhun)	Aken meyve	1-1.5 mm
39	<i>Artemisia verlotiorum</i> Lamotte	Asteraceae	(Laz yavşanı)	Aken meyve	Dikdörtgen-eliptik, yaklaşık 1,1 mm.
40	<i>Asclepias curassavica</i> L.	Apocynaceae	(İpek çalısı)	Folikül meyve	Oval şekilli yassı ve 6-7 mm uzunluğunda.
41	<i>Aster subulatus</i> Michaux	Asteraceae	(Arsızpat)	Aken meyve	1,5-2 mm uzunluğunda. Kıllı ila seyrek kıllı. 4-5 nervürlü.
42	<i>Astragalus austriacus</i> L.	Fabaceae	(Sağır geveni)	Bakla (legümen) meyve	Tohum: 1-7 mm uzunluğunda; 0,8-5 mm genişlik; 0,1-2 mm kalınlıkta
43	<i>Bauhinia variegata</i> (L.) Benth [syn. <i>Phanera variegata</i> (L.) Benth.]	Fabaceae	(Orkide ağacı)	Bakla (legümen) meyve	Tohumlar 10-15, sıkıştırılmış, neredeyse küre şeklinde, yakl. 10 mm çapında.
44	<i>Berberis thunbergii</i> DC.	Berberidaceae	(Kadıntuzluğu)	Üzümsü (Berry) meyve	Oval şekilli ve küçük genellikle 3-5 mm uzunluğunda yüzeyi hafif pürüzlüdür.
45	<i>Berberis veitchii</i> C.K.Schneid.	Berberidaceae	(Siyah meyveli kadıntuzluğu/ Sarıçalı)	Üzümsü (Berry) meyve	Küçük, oval ve yaklaşık 3-5 mm uzunluğunda Tohumların yüzeyi hafif pürüzlüdür Tohumların dış kabuğu sert
46	<i>Berteroa orbiculata</i> DC.	Brassicaceae	(Pisik cırnağı)	Silikula	Genellikle 1-2 mm uzunluğunda oval veya yuvarlak Tohum yüzeyi pürüzsüzdür ve sert bir dış kabuğa sahip

47	<i>Bidens bipinnata</i> L.	Asteraceae	(İki suketeni)	Aken meyve	2-4 mm
48	<i>Bidens frondosa</i> L.	Asteraceae	(Yaprak suketeni)	Aken meyve	Tohumlar ¼ ila 1/3 inç uzunluğundadır ve üst kısmında tüyleri veya kumaşı yakalayıp tohumların dağılmasını sağlayan 2 adet dikenli kılçık (awn) bulunur.
49	<i>Bidens pilosa</i> L.	Asteraceae	(Tarla suketeni)	Aken meyve	3-5 mm çapında
50	<i>Bidens tripartita</i> L.	Asteraceae	(Üç suketeni)	Aken meyve	Tohumlar 1/3 ila ½ inç uzunluğundadır, genellikle 3 dikenli kılçığı vardır, orta kılçığı yan kılçıklarından daha kısadır.
51	<i>Bougainvillea glabra</i> Choisy	Nyctaginaceae	(Begonvil sarmaşığı)	Aken meyve	Meyvenin içinde tek bir tohum bulunur. Tohumlar oldukça küçüktür. Tohumlar sert bir dış kabuk ile korunur.
52	<i>Bougainvillea spectabilis</i> Willd.	Nyctaginaceae	(Büyük begonvil)	Aken meyve	Meyvenin içinde tek bir tohum bulunur. Tohumlar oldukça küçüktür ve sert bir kabukla çevrilidir.
53	<i>Bougainvillea x buttiana</i> Holtum & Standl.	Nyctaginaceae	(Bodur begonvil)	Aken meyve	Meyvenin içinde tek bir tohum bulunur. Tohumlar oldukça küçüktür. Tohumlar sert bir dış kabuk ile korunur.
54	<i>Caesalpinia gilliesii</i> Wall. ex Hook.	Fabaceae	(Zampara bıyığı)	Bakla (legümen) meyve	Tohumlar 4-8, oval.
55	<i>Calendula officinalis</i> L.	Asteraceae	(Aynisefa çiçeği)	Aken meyve	3 ila 5 mm çapında ve yuvarlak-oval
56	<i>Callistemon viminalis</i> (Sol. ex Gaertn.) G.Don	Myrtaceae	(Fırça çalısı)	Kapsül meyve	Her bir kapsül içerisinde yüzlerce tohum olabilir. Genellikle kahverengi veya siyah renkte olan bu tohumlar, oldukça küçüktür.
57	<i>Camellia sinensis</i> (L.) Kuntze	Theaceae	(Çay bitkisi)	Kapsül meyve	Kahverengi tohumlar yarı küremsi olup 1-1.4 cm çapındadır.
58	<i>Campsis radicans</i> Seem.	Begoniaceae	(Acemborusu)	Kapsül meyve	Genellikle yassı ve oval 8-10 mm uzunluğunda ve 4-6 mm genişliğinde üzeyi genellikle pürüzsüzdür. Her tohum,

					ince bir zarla kaplanmış, kanat benzeri yapılara sahiptir.
59	<i>Canna indica</i> L.	Cannaceae	(Kana çiçeği)	Kapsül meyve	Tohumlar küçük, küresel, siyah topaklardır, suya batacak kadar sert ve yoğundur
60	<i>Cardamine flexuosa</i> With. [syn. <i>Cardamine occulta</i> Hornem.]	Brassicaceae	(Sinanotu)	Silikuva	Genellikle 1-2 mm uzunluğunda ohumlar oval veya yuvarlak ohum yüzeyi pürüzsüzdür ve sert bir dış kabuğa sahip
61	<i>Carex vulpinoidea</i> Michaux	Juncaceae	(Çimen ayakotu)	Nus meyve	Akenler 3 taraflıdır, 2,2 ila 3 mm uzunluğunda, 1,2 ila 1,7 mm genişliğindedir, en geniş orta veya üzerindedir ve uzun, kalıcı bir stile sahiptir.
62	<i>Carpobrotus edulis</i> (L.) N.E. Br.	Aizoaceae*	(Kazayağı)	Üzümsü (Berry) meyve	Tohumları küçük, oval veya eliptik şeklindedir. Yaklaşık 1-2 mm uzunluğunda olabilirler. Tohumların dış yüzeyi pürüzsüz ve serttir. Meyvede çok sayıda küçük tohum bulunur. Bir meyve, yüzlerce tohum içerebilir.
63	<i>Carthamus tinctorius</i> L.	Asteraceae	(Aspir)	Aken meyve	Pürüzsüz, parlak ve köşeli, yaklaşık 6-9 mm uzunluğunda
64	<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	Casuarinaceae	(Demir ağacı)	Kapsül meyve	Tohumlar eliptik, kanatlı, 6-8 mm uzunluğundadır.
65	<i>Catalpa bignonioides</i> Walter	Bignoniaceae	(Katalpa)	Kapsül meyve	Genellikle yaklaşık 2 cm uzunluğunda ve 0.5 cm genişliğinde tohumlar, ince bir zarla çevrilidir ve her iki uçta da kanat benzeri yapılar bulunur.
66	<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Carrière	Pinaceae	(Atlas sediri)	Kozalak (odunsu)	Tohumlar oval-konik, kahverengi, 8-13 mm uzunluğunda ve 18-25 mm geniş kama şeklinde kanatlı
67	<i>Centaurea pullata</i> L.	Asteraceae	İber/Mor Peygamber çiçeği)	Aken meyve	Tohum 3-4 mm. Pappusun uzunluğu: 2,5-3 mm.
68	<i>Cestrum parqui</i> L'Her	Solanaceae	(Şili yasemini)	Üzümsü (Berry) meyve	Yaklaşık 2-3 mm çapında yuvarlak veya

					hafif oval ohumların yüzeyi pürüzsüzdür ve sert bir dış kabukla kaplıdır.
69	<i>Chenopodium giganteum</i> D.Don	Chenopodiaceae	(Ispanak ağacı)	Aken meyve	Tohum yatay, siyah veya kırmızı-siyah, yaklaşık. 1,5 mm çapında, ağsı çizgili, ağız kenarı geniş. Genel olarak pürüzsüz bir görünüm verir.
70	<i>Chrysojasminum humile</i> (L.) Banfi [syn. <i>Jasminum humile</i> L.]	Oleaceae	(İtalyan yasemini)	Üzümsü (Berry) meyve	Genellikle tek bir tohum içeren ve oval veya hafif yassı bir yapıya sahip olan çekirdeklerdir. 1 ila 2 cm uzunluğunda Tohum yüzeyi, düz veya hafif kabarcıklı olabilir ve sert bir doku ile kaplıdır.
71	<i>Cicer arietinum</i> L. *	Fabaceae	(Nohut)	Bakla (legümen) meyve	Kabaca küresel, pürüzsüz veya pürüzlü yüzeyli, çapı 14 mm'ye kadar. Rengi değişkendir, genellikle kurduğunda kremsi-beyazımsı renktedir. Bakla başına bir veya iki tohum.
72	<i>Cichorium endivia</i> L.	Asteraceae	(Bostan hindibası)	Aken meyve	Oval veya yuvarlak 1-2 mm
73	<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. & Nakai	Cucurbitaceae	(Karpuz)	Pepo	Tohumlar küçük ve yassıdır, genellikle 0.5-1.5 cm uzunluğunda ve 0.3-0.7 cm genişliğindedir. Tohum yüzeyi genellikle pürüzsüz ve serttir
74	<i>Clerodendrum bungei</i> Steudel	Lamiaceae	(Kısmet ağacı)	Çekirdekli Sulu meyve (Drupa)	Genellikle 2-4 mm uzunluğunda yuvarlağımsı tohumların yüzeyi pürüzsüzdür, ancak bazı tohumlar hafif çizgili olabilir. Tohumun iç kısmında embriyo bulunur.
75	<i>Clerodendrum trichotomum</i> Thunberg	Lamiaceae	(Hoş kısımetağacı)	Çekirdekli Sulu meyve (Drupa)	Tohumları 3-5mm arası kahverengi dışı pürüzsüz Tohumun iç kısmında embriyo bulunur.

76	<i>Clinopodium debile</i> (Bunge) Kuntze	Lamiaceae	(Afgan fesleğeni)	Şizokarp (tek tek nus) meyve	1-2 mm çapında yuvarlak veya oval, tohumların dış yüzeyi genellikle pürüzsüz veya hafifçe kabartmalı tohumun dokusu sert ve sağlam.
77	<i>Commelina communis</i> L.	Commelinaceae	(Asya gün çiçeği)	Kapsül meyve	Tohumlar ikişer kapakçıklı, kahverengi-sarı, yarı elipsoid 2–3 mm, 1 yüzeyi yassı, düzensiz çukurlaşmış (oyuklu), son kısmı kesiklidir.
78	<i>Convallaria majalis</i> L. var. <i>majalis</i> *	Liliaceae	(İnci çiçeği)	Üzümsü (Berry) meyve	Yarı saydam yuvarlak bir boncuk halinde kuruyan birkaç büyük beyazımsı ila kahverengimsi renkli tohum içerir.
79	<i>Conyza albida</i> Willd. ex Sprengel	Asteraceae	(Ak çakalotu)	Aken meyve	Tohum yüzeyi genellikle pürüzsüzdür ancak bazen hafifçe tüylenebilir.
80	<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist var. <i>bonariensis</i>	Asteraceae	(Çakalotu)	Aken meyve	Yaklaşık 1,5 mm uzunluğunda üst kısmı belirgin şekilde daha uzun, beyaz veya pembe olan 16-20 tüylerle kaplı, doğrusal şekilli bir tohumdur
81	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	Asteraceae	(Selvi otu)	Aken meyve	Oval veya elipik 1-3 mm
82	<i>Cordia myxa</i> L.	Boraginaceae	(Yellim ağacı)	Çekirdekli Sulu meyve (Drupa)	1-2 cm uzunluğunda eliptik veya oval şekilde ohum yüzeyi sert ve pürüzsüzdür.
83	<i>Corylus maxima</i> Mill.	Corylaceae	(Lambert fıncığı)	Nus meyve	Büyük ve ovaldır, genellikle 1-2 cm uzunluğunda ve 1-1.5 cm genişliğindedir.
84	<i>Crassocephalum crepidioides</i> (Benth) S. Moore	Asteraceae	(Duduka)	Aken meyve	Kotiledonların sap kısmı 2-3 mm uzunluğunda tüysüz, alt kısmı mor renklidir.
85	<i>Crocus sativus</i> L. *	Iridaceae	(Safran)	Kapsül meyve	Genellikle 3-4 mm uzunluğunda tohum genelde prüzsüz ama bazılarında hafif prüzülük olabilir testa sert ve koruyucu

					tohumun iç kısmında embriyo bulunur.
86	Cryptomeria japonica (Thunb. ex L.f.) D.Don	Taxodiaceae	(Japon çamı)	Kozalak (odunsu)	Tohum 4-6 × 2-3 mm, yassı, dar kanatlı; kanatlar eşit değil.
87	Cucumis melo L.	Cucurbitaceae	(Kavun, Muskmelon)	Pepo	Küçük ve oval şekillidir, genellikle 0.5-1.5 cm uzunluğunda ve 0.3-0.7 cm genişliğindedir. Tohum yüzeyi genellikle pürüzsüz ve serttir.
88	Cucurbita maxima Lam.	Cucurbitaceae	(Kabak)	Pepo	Tohumlar orta büyüklükte olup, genellikle 1-2 cm uzunluğunda ve 0.5-1 cm genişliğindedir. Tohum yüzeyi genellikle pürüzsüz ve serttir, bazı çeşitlerde hafif tırtıklı olabilir.
89	Cucurbita moschata (Lam.) Poiret	Cucurbitaceae	(Kabak)	Pepo	Orta büyüklükte olup, genellikle 1-2 cm uzunluğunda ve 0.5-1 cm genişliğindedir. Genellikle beyaz veya krem rengindedir. Tohum yüzeyi genellikle pürüzsüz ve serttir, bazı çeşitlerde hafif tırtıklı olabilir.
90	Cucurbita pepo L.	Cucurbitaceae	(Kabak)	Pepo	Küçükten orta büyüklüğe kadar değişir, genellikle 1-2 cm uzunluğunda ve 0.5-1 cm genişliğindedir. Genellikle beyaz veya krem rengindedir. Tohum yüzeyi genellikle pürüzsüz ve serttir, ancak bazı çeşitlerde hafif tırtıklı olabilir.
91	Cupressus arizonica Greene	Cupressaceae	(Arizona servisi / Mavi servi)	Kozalak (odunsu)	Tohumlar genellikle küçük olup, yaklaşık 4-7 mm uzunluğundadır. Tohumların dış kısmı sert ve koruyucu bir kabuk ile kaplıdır. Her tohumun yanında, rüzgârla taşınmasını kolaylaştıran küçük kanatçıklar bulunur.

					Tohumun iç kısmında, embriyo ve besin maddesi depolayan endosperm bulunur
92	<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw.	Cupressaceae	(Limoni servi)	Kozalak (odunsu)	Küçük, oval veya yuvarlak şekildedir. Tipik olarak 3 ila 6 mm uzunluğunda
93	<i>Cyclosporum leptophyllum</i> (Pers.) Sprague ex Britton & P. Wilson	Apiaceae	(Bataklık maydanozu, İnce kereviz, Gökmar yapraklı kereviz, Yabani kiraz)	Şizokarp meyve	Bireysel tohumlar 1,0–1,5 mm. Her tohumun bir tarafı düz ila hafif içbükey, diğer tarafı ise dışbükey ve dikkat çekici bir şekilde nervürlüdür (2 oluk ile ayrılmış 3 kaburga)
94	<i>Cyperus congestus</i> Poir.	Cyperaceae	(Samar)	Aken meyve	Üçgenimsi, dar-obovoid, kavuzun yaklaşık yarısı kadar uzunlukta, c. 1,5 mm uzunluğunda, c. 0,6 mm çap, koyu kahverengiden siyaha.
95	<i>Cyperus eragrostis</i> Lam.	Cyperaceae	(Uzun hasırotu)	Aken meyve	Üç parçalı, obovoid, kavuzun yaklaşık yarısı kadar uzunlukta, 1–1,4 mm uzunluğunda, c. 0,5 mm çapında, koyu kahverengiden grimsiye kadar.
96	<i>Cyperus eragrostis</i> Lam.	Cyperaceae	(Uzun düz saz)	Aken meyve	Üç kenarlı, 1,2 ila 1,4 mm, saplı, ince ağsı, ucu gagalı.
97	<i>Deutzia gracilis</i> Siebold & Zucc.	Hydrangeaceae	Japon kar çiçeği)	Kapsül meyve	Genellikle 1-2 mm uzunluğunda Tohum yüzeyi pürüzsüz ve parlaktır. Tohumun iç kısmında embriyo bulunur.
98	<i>Deutzia scabra</i> Thunb.	Hydrangeaceae	Havlu püsküllü)	Kapsül meyve	Yaklaşık 1-2 mm uzunluğunda Tohumun iç kısmında embriyo bulunur.
99	<i>Dichrocephala integrifolia</i> (L. fil.) Kuntze	Asteraceae	(Kırtık otu)	Aken meyve	Hermafrodit akenlerin pappusları tüysü 0-5-1 mm.
100	<i>Diospyros kaki</i> L.	Ebenaceae	(Trabzon hurması)	Çekirdekli Sulu meyve (Drupa)	Yaklaşık olarak 1-2 cm uzunluğunda ve oval şekildedir. Tohum yüzeyi genellikle

					pürüzsüzdür ve sert bir kabuk ile kaplıdır.
101	<i>Drosanthemum floribundum</i> (Haw.) Schwantes	Aizoaceae*	(Acem halısı)	Kapsül meyve	Tohumlar oldukça küçüktür ve genellikle kahverengi veya siyah renkte olabilir. Yüzeyleri pürüzsüz veya hafifçe dokulu olabilir. Tohumlar, embriyo ve endosperm içeren bir tohum kabuğu ile kaplıdır.
102	<i>Duranta erecta</i> L.	Verbenaceae	(Ağaç menekşesi)	Üzümü (Berry) meyve	Küçük ve oval 2-4 mm Tohumların yüzeyi genellikle düzdür ve parlak Tohumların kabuğu sert ve dayanıklı Bazı <i>Duranta erecta</i> tohumlarında kabuklarında hafif çıkıntılar veya desenler olabilir. Tohumların iç yapısı tek bir tohum içerir. Tohumun içinde embriyo ve besin dokuları bulunur.
103	<i>Dysphania ambrosioides</i> (L.) Mosyakin & Clemants	Chenopodiaceae	(Meksika çayı)	Aken meyve	Genellikle yaklaşık 2 cm uzunluğunda ve 0.5 cm genişliğinde Tohumlar, ince bir zarla çevrilidir ve her iki uçta da kanat benzeri yapılar bulunur Tohumlar hafif ve aerodinamik bir yapıya sahiptir
104	<i>Egeria densa</i> Planch.	Hydrocharitaceae	(Büyük çiçekli su yosunu)	Kapsül meyve	Tohum yüzeyi genellikle pürüzsüzdür. Tohumların dış kısmı sert bir kabukla (testa) kaplıdır. Tohumun iç kısmında embriyo bulunur.
105	<i>Elatine ambigua</i> Wight	Elatinaceae	(Geniş solucanotu)	Kapsül meyve	Lokül başına 10, dar dikdörtgensi, düz veya kavisli 15–30°, 0,3 × 0,1 mm; çukurlar belirsiz, yuvarlak, uzunluk genişliğin 1-4 katı, 6 sıra halinde, sıra başına 19-25.

106	<i>Elodea canadensis</i> Michaux	Hydrocharitaceae	(Elodea)	Kapsül meyve	Tohumlar 4-5 mm uzunluğunda, iğ şeklinde ve pürüzsüzdür.
107	<i>Elsholtzia ciliata</i> (Thunb.) Hyl.	Lamiaceae	(Köri yaprağı)	Nus meyve	Genellikle 1-2 mm uzunluğunda ve oval şekildedir. Tohumların yüzeyi genellikle pürüzsüz ve parlaktır. Tohumun iç kısmında embriyo bulunur.
108	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	Asteraceae	(Hemşin şifaotu)	Aken meyve	İnce tohum 1 mm'den kısa, kahverengi ve neredeyse tüysüzdür.
109	<i>Erysimum cheiri</i> (L.) Crantz	Brassicaceae	(Sarı şebboy)	Silikuva	Dikdörtgen-oval, kanatlı, yaklaşık 3 mm uzunluğunda, ince ağısı, ıslatıldığında zamklıdır.
110	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	Myrtaceae	(Sıtma ağacı)	Kapsül meyve	Tohumlar küp şeklinde, sarıdan sarı-kahverengiye kadar.
111	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Euphorbiaceae	(Cin sütleğen)	Şizokarp	Tohumlar oval, 2,5 mm çapında, şişimsi, siyahımsı kahverengidir ve embriyo tohumun tepe noktasına doğru yerleşmiştir
112	<i>Euphorbia humifusa</i> Willd.	Euphorbiaceae	(Ezik sütleğen)	Şizokarp	Oval, açılı veya dörtgen, yüzeyi pürüzsüz veya çeşitli biçimlerde şekillendirilmiş, kıkırdaklı veya kıkırdaksız.
113	<i>Euphorbia lathyris</i> L.	Euphorbiaceae	(Hubbüsselâtin)	Şizokarp	Kahverengimsi veya siyahımsı, dikdörtgensel, 4,5–6 × 3–4,2 mm, buruşuk, düzensiz ağısı; kıkırdak substipitat, şapka şeklinde, 1,6–2 × 1,2–1,5 mm.
114	<i>Euphorbia maculata</i> L. [syn. <i>Euphorbia supina</i> Rafin.]	Euphorbiaceae	(Benli sütleğen)	Şizokarp	0,9–1,6 mm uzunluğunda, tohumun üzerinde paralel çıkıntılar var (nervürlü)
115	<i>Euphorbia serpens</i> Kunth	Euphorbiaceae	(Sütleğen)	Şizokarp	Beyaz ila gri veya açık pembe, oval, açıkça 3–4 açılı kesitli, 0,7–1,1 × 0,4–0,7 mm, pürüzsüz.
116	<i>Fallopia convolvulus</i>	Polygonaceae	(Yayılğan)	Aken meyve	Kabuğun içinde, minik, taneli çıkıntılarla kaplı bir tohum bulunur.

117	<i>Felicia amelloides</i> (L.) Voss	Asteraceae	(Mavi papatya)	Aken meyve	Tek tohumlu, açılmayan meyveler ters yumurta şeklindedir, yaklaşık 4 mm (0,16 inç) uzunluğunda ve 2 mm (0,079 inç) genişliğindedir, yüzeyi hafif pullu ve kısa tüylerle kaplıdır.
118	<i>Galinsoga ciliata</i> (Rafin.) S.F. Blake	Asteraceae	(Kıllı beşpat)	Aken meyve	Tüylü, 1,5 mm uzunluğunda, tabanı konik, tacı andıran beyaz papuslarla çevrilidir
119	<i>Gamochaeta coarctata</i> (Mill.) Wedd.	Asteraceae	(Gri keçeotu)	Aken meyve	Yuvarlak veya oval şekle 1-2 mm tohumların dış yüzeyi genellikle düzgün veya hafif kabartmalı olabilir
120	<i>Gasteria obliqua</i> (Aiton) Duval	Xanthorrhoeaceae	(Avukatın dili)	Kapsül meyve	Yuvarlak veya oval tohumun dokusu genellikle serttir ve koruyucu bir kabukla çevrilidir. 2-5 mm
121	<i>Geranium macrorrhizum</i> L.	Geraniaceae	(Büyük köklü turnagagası)	Kapsül meyve	Tohumlar küçük, oval ve pürüzsüz bir yapıya sahiptir. Her bir tohum yaklaşık 1-2 mm uzunluğundadır.
122	<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	Fabaceae	(Amerikan glediçyası)	Bakla (legümen) meyve	Tohumlar koyu kahverengi ve parlak, çok sert, düzleştirilmiş böbrek şeklinde, yaklaşık 1/3 inç uzunluğundadır. .
123	<i>Gomphocarpus fruticosus</i> (L.) Aiton [syn. <i>Asclepias fruticosa</i> L.]	Asclepiadaceae	(Pamuk ağacı)	Folikül meyve	Çok sayıda, siyah renkli.
124	<i>Gomphrena globosa</i> L.	Amaranthaceae	(Hanım düğmesi)	Aken meyve	Tohumlar parlak kırmızımsı kahverengi, böbrek şeklinde, 1,5-2 mm genişliğinde ve kalın bir kaplamayla kaplıdır.
125	<i>Gossypium barbadense</i> L.	Malvaceae	(Ak altın)	Kapsül meyve	Tohumlar tüysüz ve keldir. Tiftik, ekstra uzun elyaf uzunluğuyla (>30 mm) en iyi kalitededir
126	<i>Gossypium herbaceum</i> L.	Malvaceae	(Pamuk)	Kapsül meyve	Tohumların kısa tüyleri ve tüyleri vardır
127	<i>Gossypium hirsutum</i> L.	Malvaceae	(Kaba pamuk)	Kapsül meyve	Tohumlar bol tüylere ve kalın bir tüye sahiptir.

128	Grindelia hirsutula Hook	Asteraceae	(Tüylü sakız otu)	Aken meyve	2,5-5,5 mm, üst kısmı kesikten yumruya kadar; Pappus kılıçıkları 2-4 Pappus sert, sivriken kılıklardan yapılmıştır
129	Helianthus annuus L.	Asteraceae	(Ayçiçeği)	Kapsül meyve	Böbrek şeklinde, çentikli, basık, 1 mm kalınlığında ve 2-3 mm uzunluğundadır
130	Helianthus tuberosus L.	Asteraceae	(Yer elması)	Aken meyve	5-7 mm uzunluğunda, tüysüz veya tüylüdürler ve bir pappusa yapışıktırlar
131	Heliotropium curassavicum L.	Boraginaceae	(Isıkırnağı)	Şizokarp	Genellikle birkaç milimetre uzunluğunda öbrek şeklinde veya oval Tohum yüzeyi pürüzsüzdür ve sert bir dış kabukla kaplıdır.
132	Hemerocallis fulva (L.) L.	Liliaceae	(Turuncu güngüzeli)	Kapsül meyve	Küçük boyutlarda ve siyah veya koyu kahverengi renkte olabilir. Tohumlar, içinde embriyo ve endosperm bulunan bir tohum kabuğu ile kaplıdır.
133	Hibiscus mutabilis	Malvaceae	(Yol hatmisi)	Kapsül meyve	Tohumlar çok sayıda, böbrek şeklinde veya neredeyse küremsi, pürüzsüz, tüysüz veya tüylü.
134	Hibiscus trionum L.	Malvaceae	(Kerkede)	Kapsül meyve	2-2,5 mm, böbrek şeklinde, seyrek tüylü.
135	Hydrangea macrophylla (Thunb.) Ser.	Hydrangeaceae	(Ortanca)	Kapsül meyve	Yaklaşık 0.5-1 mm uzunluğundadır. Genelde yuvarlak veya yuvarlağa yakın bir şekli vardır. Tohumun iç kısmında embriyo bulunur.
136	Impatiens glandulifera Royle	Balsaminaceae	(Kına çiçeği)	Kapsül meyve	2 ila 3 cm (3/4 ila 1) büyüklüğünde tohum kabukları oluşturur 1/4 inç uzunluğunda ve 8 mm genişliğinde (1/4 inç), rahatsız edildiğinde patlayan, tohumları 7 metreye kadar saçar
137	Ipomoea coccinea L.	Convolvulaceae	(Kırmızı sabah sefası)	Kapsül meyve	Tohumlar 3,2-3,6 mm uzunluğunda, yüzeyi

					yoğun tüylü ve çok küçük, kıvrıkcık tüylere sahiptir.
138	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth.	Convolvulaceae	(Kahkaha çiçeği)	Kapsül meyve	Tohumlar siyah veya saman renginde, oval-trigonlu, tüsüz veya hilum seyrek tüylü.
139	<i>Ipomoea stolonifera</i>	Convolvulaceae	(Yalıotu)	Kapsül meyve	Tohumlar açık kahverengi. Tohumlar kısa tüylü veya kenarları boyunca daha uzun tüylüdür.
140	<i>Ipomoea triloba</i> L.	Convolvulaceae	(Pembe çiçekli akşam sefası)	Kapsül meyve	Tohumlar genellikle kapsül başına 4 adet, yarı küremsi, 2,5-3,2 mm uzunluğunda, koyu kahverengi
141	<i>Iris albicans</i> Lange	Iridaceae	(Ak süsen)	Kapsül meyve	4-6 mm uzunluğunda yuvarlak veya hafif oval şekildedir. Tohum zarının yüzeyi sert ve koruyucudur. Tohumun iç kısmında embriyo bulunur.
142	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Bignoniaceae	(Jakaranda)	Kapsül meyve	Tohumlar membranöz bir kanatla çevrelenmiştir. Tohumlar ortalama 1 cm uzunluğunda
143	<i>Juncus tenuis</i> Willd.	Juncaceae	(Tel saz)	Kapsül meyve	Tohumlar elipsoid, sivri uçlu, sıklıkla kavisli, 0,4-0,6 x 0,2-0,3 mm, pürüzsüz ilâ hafif buruşuk çoğunlukla kuyruksuz veya kısa kuyrukludur.
144	<i>Juniperus chinensis</i> L.	Cupressaceae	(Çin ardıcı)	Kozalak (üzümsü)	Tohumlar oval, küt, omurgalı, enine kesitte üçgen şeklinde, kahverengi renktedir
145	<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb. [syn. <i>Cyperus brevifolius</i> (Rottb.) Haussk.]	Cyperaceae	(Kilinotu)	Aken meyve	Genellikle 2-3 mm uzunluğunda ve 1-1.5 mm genişliğindedir. Yüzeyi genellikle pürüzsüzdür.
146	<i>Lagenaria siceraria</i> (Mol.) Standl.	Cucurbitaceae	(Uzun kabak)	Pepo	Orta büyüklükte ve genellikle 1-2 cm uzunluğunda ve 0.5-1 cm genişliğindedir.

147	Lagerstroemia indica L.	Lythraceae	(Oya ağacı)	Kapsül meyve	Küçük boyutludur ve genellikle hafif kahverengi veya siyah renktedir. Tohumların yüzeyi pürüzsüz veya hafif kırışık olabilir. Tohumlar, içinde embriyo ve endosperm bulunan bir tohum kabuğu ile kaplıdır.
148	Lavandula angustifolia Miller	Lamiaceae	(Lavanta)	Şizokarp	2-3 mm pürüzlü kabartmalı. Tohumun iç kısmında embriyo bulunur.
149	Lens culinaris Medik. *	Fabaceae	Mercimek)	Bakla (legümen) meyve	Çapları genellikle 3-9 mm arasında yüzeyi genellikle pürüzsüz ve serttir.
150	Lepidium virginicum L.	Brassicaceae	(El tere)	Silikula	Hafifçe sıkıştırılmış veya düzleştirilmiş, oval-oval, distalde dar kanatlı, yaklaşık 1,5-2 x 0,8 mm çapında, pürüzsüz, ince ağsı, ıslanıldığında güzelce zamksı, kotiledonlar nadiren yerleşik.
151	Linum usitatissimum L.	Linaceae	(Keten)	Kapsül meyve	Tohum oval, merceksi, 4-6 mm uzunluğunda, pürüzsüz, parlak yüzeyli, kahverengi ile altın rengindedir.
152	Liquidambar styraciflua L.	Altingiaceae	(Amerikan sığıla ağacı)	Kapsül meyve	Tohumlar küçüktür. Her tohumun yaklaşık 0.5 cm uzunluğunda bir kanadı bulunur,
153	Lonicera japonica Thunb.	Caprifoliaceae	(Japon hanımeli)	Üzümsü (Berry) meyve	Genellikle 3-4 mm uzunluğunda ve 1-2 mm genişliğinde Tohumlar oval veya hafifçe yassıdır. Tohum yüzeyi genellikle pürüzsüz ve parlak bir görünüm
154	Ludwigia peploides (Kunth) P.H. Raven	Onagraceae	(Göl toynakotu)	Kapsül meyve	Tohumlar her lokülde tek sıralı, ayrı ayrı endokarp tarafından çevrelenmiş, tohum ve endokarp birlikte 1 mm, funikulusun karşısındaki uçta kısa kesik

155	<i>Luffa cylindrica</i> (L.) M.J.Roemer	Cucurbitaceae	(Lif kabağı)	Pepo	Küçükten orta büyüklüğe kadar değişir, genellikle 1-1.5 cm uzunluğunda ve 0.5-1 cm genişliğindedir, yassı ve ovaldır. Tohum yüzeyi genellikle pürüzsüzdür, ancak bazı çeşitlerde hafif tırtıklı olabilir
156	<i>Lunaria annua</i> L. subsp. <i>annua</i>	Brassicaceae	(Dolunay otu)	Silikula	5-8 mm çapında, tekdüze kanatlı (kanat yaklaşık 1 mm genişliğinde).
157	<i>Machilus thunbergii</i> Siebold & Zucc.	Lauraceae	(Japon defne ağacı)	Çekirdekli Sulu meyve (Drupa)	Tohumun dokusu genellikle sert ve sağlamdır 5-8 mm
158	<i>Magnolia grandiflora</i> L.	Magnoliaceae	(Büyük çiçekli Manolya)	Folikül meyve	Tohumlar sert çekirdekli meyveye benzer, yumuşak, etli bir dış tohum kabuğu ve iç kısmı taşlıdır.
159	<i>Malvastrum coromandelianum</i> L.	Malvaceae	(Yalancı ebegümeci)	Kapsül meyve	Tohumlar 1,3-2 mm, siyahımsı-kahverengi, orta kısımda kırmızımsı-siyah, yüzeyi pürüzsüz böbrek şeklinde
160	<i>Matricaria matricarioides</i> (Less.) Porter ex Britton	Asteraceae	(Kelkız çiçeği)	Aken meyve	0.5-1 mm silindirik veya hafifçe dörtgenimsi yüzeyi genellikle düz veya hafif pürüzlü Akenlerin dış kısmı sert bir kılıfla kaplıdır
161	<i>Melaleuca citrina</i> (Curtis) Dum. Cours. [syn. <i>Callistemon citrinus</i> (Curtis) Skeels]	Myrtaceae	(Şişe çalısı)	Kapsül meyve	Tohumlar oldukça küçüktür ve her bir kapsülde çok sayıda tohum bulunur. Genellikle kahverengi veya siyah renktedir.
162	<i>Melia azedarach</i> L.	Meliaceae	(Tesbih ağacı)	Kapsül meyve	Tohumu etlidir ve 7,6 mm uzunluk x 3,2 mm genişliğindedir, ancak bazı çeşitlerde 3,5 mm uzunluk x 1,6 mm genişlik kadar küçük olabilir
163	<i>Mesembryanthemum crystallinum</i> L.	Aizoaceae*	(Buz çiçeği)	Kapsül meyve	Pürüzlü ve küçük yumrulu.
164	<i>Mirabilis jalapa</i> L.	Nyctaginaceae	(Akşamsefası)	Kapsül meyve	Genellikle 3-5 mm çapında olup küçük ve yuvarlaktır. Tohum yüzeyi kabarcıklı

					olabilir. Tohumları genellikle tek bir embriyo içerir ve endospermi bulunmayabilir veya çok az olabilir.
165	<i>Musa acuminata</i> Colla *	Musaceae	(Muz)	Partenokarp meyve	Tohumlar yabancı bitkilerde çok sayıdadır kahverengi, basık, 5-6 mm çapında, düzensiz açılı.
166	<i>Najas chinensis</i> N.Z.Wang [syn. <i>Najas orientalis</i> Triest & Uotila]	Najadaceae	(Superisi)	Aken meyve	Her bir meyve içerisinde tek bir tohum bulunur. Tohumlar sert bir dış kabuk ile korunur. Oldukça küçüktür.
167	<i>Najas graminea</i> Delile	Najadaceae	(İnce superisi)	Aken meyve	Her bir meyve içerisinde tek bir tohum bulunur. Tohumlar sert bir dış kabuk ile korunur. Oldukça küçüktür.
168	<i>Narcissus papyraceus</i> Ker-Gawler *	Liliaceae	(Mısırgülü)	Kapsül meyve	Meyve, yuvarlak ve şişmiş, sert bir kaplamayla, bazen bağlı bir elaiozomla birlikte çok sayıda küremsi tohum içerir. Testa siyahtır ve perikarp kurudur.
169	<i>Ocimum basilicum</i> L.	Lamiaceae	(Fesleğen)	Şizokarp (tek tek nus) meyve	Genellikle 1-2 mm uzunluğunda yuvarlak veya hafif eliptik şeklindedir. Tohumun iç kısmında embriyo bulunur.
170	<i>Oenothera biennis</i> L.	Onagraceae	(Ezan çiçeği)	Kapsül meyve	1,1–2 mm tohum kısa, yuvarlak veya silindirik çıkıntılarla (papilla) kaplıdır
171	<i>Oenothera glazioviana</i> M.Micheli	Onagraceae	(Güneş damlası)	Kapsül meyve	1,3–2 mm tohumun üzerinde çukurlar veya çöküntüler var
172	<i>Oenothera parodiana</i> Munz	Onagraceae	(Güneş damlası)	Kapsül meyve	1,5 mm uzunluğa kadar tohumlar, elipsoid.
173	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Cactaceae	(Dikenli incir)	Üzümü (Berry) meyve	Küçük ve serttir, genellikle 3-5 mm çapında yuvarlak veya hafif oval Tohum yüzeyi sert ve pürüzsüzdür

174	<i>Opuntia macrorhiza</i> Engelm.	Cactaceae	(Düz dikenli armut)	Üzümsü (Berry) meyve	Dış hatları yuvarlak, 3,9–4,8 mm, 1,7 mm kalınlığında, kemikli, krem rengi-ten rengi, çevreleyen kuşak, hilus hariç tohumun etrafında tekdüze, yaklaşık olarak çıkıntılı. 0,5 mm.
175	<i>Oxalis articulata</i> Savigny	Oxalidaceae	(Ekşi pembe yonca çiçeği)	Kapsül meyve	Tohumlar açık kahverengimsi, oval veya elipsoid, her iki uçta sivri, 1-1,25 mm uzunluğunda, zig-zag şeklinde 8-9-nervürlü, 4-8 derin çukurlu enine çizgili.
176	<i>Oxalis corniculata</i> L.	Oxalidaceae	(Ekşi yonca)	Kapsül meyve	Kapsülün her bölümünde 5-14 tohum bulunur. Tohumlar kahverengi ile kahverengimsi kırmızı ve oval-dikdörtgen şeklindedir (yumurta şekli ile uzun arasının ortasında).
177	<i>Oxalis pes-caprae</i> L.	Oxalidaceae	(Güzel ekşi tırfıl)	Kapsül meyve	Tohum: düz, genellikle çıkıntılı; yarı saydam.
178	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Fabaceae	(Sülün ağacı)	Bakla (legümen) meyve	Tohum 10 mm uzunluğunda ve 4 mm genişliğinde dikdörtgendir.
179	<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.	Vitaceae	(Amerikan sarmaşığı)	Üzümsü (Berry) meyve	5-8 mm ohumların dış yüzeyi genellikle pürüzlü Tohumun dış katmanı sert ve sağlamdır.
180	<i>Passiflora caerulea</i> L.	Passifloraceae	(Çarkıfelek)	Üzümsü (Berry) meyve	Tohumlar çok sayıda, obkordat, yaklaşık. 5 mm
181	<i>Paulownia fortunei</i> (Seem.) Hemsl.	Paulowniaceae	(Beyaz çiçekli Pavlonya)	Kapsül meyve	Tohumlar kanat dâhil 6-10 mm.
182	<i>Perilla frutescens</i> (L.) Britton	Lamiaceae	(Biftek otu)	Şizokarp (tek tek nus) meyve	Tohumları yumuşak veya sert olabilir; beyaz, gri, kahverengi ve koyu kahverengi renkte ve küresel şekilli olabilir.
183	<i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) Nyman & A.W.Hill	Apiaceae	(Maydanoz)	Şizokarp meyve	Maydanoz tohumları armut biçimli, kahverengi renkli, merikarplar 2,5-3 × 0,5 mm, olgunlaştığında hafif kavislidir.

184	Phacelia tanacetifolia Benth.	Hydrophyllaceae*	(Arıballığı)	Kapsül meyve	Genellikle 2-3 mm uzunluğunda olabilir. Tohumların yüzeyi pürüzsüzdür, bazı tohumlarda hafif çizgiler olabilir. Tohumun iç kısmında embriyo bulunur.
185	Phaseolus coccineus L. *	Fabaceae	(Bombay fasülyesi)	Bakla (legümen) meyve	Oval veya böbrek şeklindedir. Renk ve desenler yüzeyde belirgin şekilde görülür. Yüzeyi genellikle pürüzsüzdür.
186	Phaseolus vulgaris L.*	Fabaceae	(Fasülye)	Bakla (legümen) meyve	Oval veya böbrek şeklindedir. Renk ve desenler yüzeyde belirgin şekilde görülür. Yüzeyi genellikle pürüzsüzdür.
187	Philadelphus coronarius L.	Hydrangeaceae	(Filbahri)	Kapsül meyve	Kuyruklu, 3 mm genellikle 1-2 mm uzunluğunda Tohumların yüzeyi pürüzsüz ve parlaktır. Tohumlar, sert bir dış zar (testa) ile kaplıdır. Tohumun iç kısmında embriyo bulunur.Embriyonun etrafında endosperm dokusu bulunur
188	Phoenix dactylifera L.	Palmae	(Arabistan hurması)	Çekirdekli Sulu meyve (Drupa)	Yaklaşık 2-3 cm uzunluğunda, 1 cm genişliğindedir. Tohumun dış yüzeyi sert ve pürüzlüdür. Tohumun içinde büyük bir embriyo bulunur
189	Phoenix roebelenii O'Brien	Palmae	(Cüce hurma)	Çekirdekli Sulu meyve (Drupa)	Küçük, silindirik veya oval şeklindedir. Boyutları genellikle 1-2 cm uzunluğunda ve 0.5 cm genişliğindedir. Tohumun dış yüzeyi serttir ve biraz pürüzlü olabilir.
190	Phyla nodiflora (L.) Greene	Verbenaceae	(Su çileği)	Şizokarp	Küçük ve ovaldir. Eğri veya kavisli olma eğiliminde 1-2 mm çapında

191	<i>Picea glauca</i> (Moench) Voss	Pinaceae	(Ak ladin)	Kozalak (odunsu)	Tohumlar siyah, 2–3 mm uzunlukta, 5–8 mm uzunluğundaki tohum kanadı soluk kahverengidir.
192	<i>Pinus pinaster</i> Aiton	Pinaceae	(Sahil çamı)	Kozalak (odunsu)	Tohumlar 8–10 mm (5/16 – 3/8 inç) uzunluğunda, 20–25 mm (13/16–1 inç) kanatlıdır
193	<i>Pinus ponderosa</i> Douglas ex C.Lawson	Pinaceae	(Batı sarıçamı)	Kozalak (odunsu)	Tohumlar kahverengi veya sarı-kahverengi, genellikle daha koyu benekli, elipsoid-obovoid, 3-9 mm; kanat 1,5-2,5 cm
194	<i>Pinus radiata</i> D Don	Pinaceae	(Monteri çamı)	Kozalak (odunsu)	Tohumlar basık-elips, 6 mm, koyu kahverengi; kanatlar 20–30 mm dir.
195	<i>Platycladus orientalis</i> (L.) Franco	Cupressaceae	(Doğu mazısı)	Kozalak (derimsi)	Tohumlar 5-7 × 3–4 mm, kanatsız bazen dar kanatlı gri-kahverengi veya mor-kahverengi yumurtamsı veya eliptik hafif çıkıntılıdır
196	<i>Polianthes tuberosa</i> L.	Agavaceae*	(Sümbülteber)	Kapsül meyve	Tohumları küçük ve genellikle oval veya eliptik şeklindedir. Her kapsülde birçok küçük tohum bulunur. Ortalama olarak 2-3 mm uzunluğunda olabilirler. Tohumların yüzeyi pürüzlü ve serttir.
197	<i>Proboscidea louisianica</i> (Miller) Thell.	Martyniaceae	(Şeytan pençesi)	Kapsül meyve	Siyah veya beyaz tohumlar düzgün bir yüzeye sahip olabilir veya hafif kırışık olabilir. Tohumlar, içinde embriyo ve endosperm bulunan bir tohum kabuğu ile kaplıdır.
198	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco var. <i>menziesii</i>	Pinaceae	(Yeşil duglas / Duglas göknarı)	Kozalak (odunsu)	Tohumların (3/16–1/4 inç) uzunluğunda ve 3–4 mm (1/8–3/16 inç) genişliğinde, 12–15 mm (1/2–9/16 inç) uzunluğundadır ve kanatlı.

199	<i>Pueraria montana</i> (Lour.) Merr.	Fabaceae	(Kudzu)	Kapsül meyve	Tohum uzunluğu: 3,1–5,0 mm; genişlik: 2,5–3,3 mm oval, D şeklinde veya böbrek şeklinde tohum, kenardan sıkıştırılmış. Yüzey dokusu pürüzsüz. Hilus tohumun uzun kenarının ortasında yer alır. Embriyo tohumu doldurur
200	<i>Quercus rubra</i> L.	Fagaceae	(Kırmızı Amerikan meşesi)	Nus meyve	Palamutlar tek bir tohum içerir. Bu tohumlar oval ve düzgün bir yapıya sahiptir. Tohumların sert ve dayanıklı bir kabuğu vardır.
201	<i>Ribes aureum</i> Pursh	Grossulariaceae	(Beyaz Frenk üzümü / Sarı çiçekli Bektaşî üzümü)	Üzümü (Berry) meyve	Küçük, oval ve düz bir yapıya sahiptir. Her bir tohum yaklaşık 1-2 mm uzunluğundadır. Tohumların yüzeyi genellikle düzgündür ve parlak bir dokuyla kaplıdır. Tohumlar ince bir zar (endosperm) ile kaplıdır.
202	<i>Ribes rubrum</i> L.	Grossulariaceae	(Frenk üzümü)	Üzümü (Berry) meyve	Küçük, oval ve düz bir yapıya sahiptir. Her bir tohum yaklaşık 1-2 mm uzunluğundadır.
203	<i>Robinia hispida</i> L.	Fabaceae	(Tüylü yalancı akasya)	Bakla (legume) meyve	Tohumlar genellikle küçük, oval ve düz bir yapıya sahiptir. Her bir tohum yaklaşık 2-3 mm uzunluğundadır. Tohumların sert bir kabuğu var
204	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Fabaceae	(Beyaz çiçekli yalancı akasya)	Bakla (legume) meyve	Tohumlar düzensiz işaretlere sahip koyu turuncu kahverengidir. Sonbaharın sonlarında olgunlaşırlar ve ilkbaharın başlarına kadar dallarda asılı kalırlar.
205	<i>Ruscus hypophyllum</i> L.	Asparagaceae	(Atdili)	Çekirdekli Sulu meyve (Drupa)	2 tohumlu

206	<i>Santolina chamaecyparissus</i> L.	Asteraceae	(Pamuk İvantası / Lavantin)	Aken meyve	1-2 mm oval veya elipsoidal yüzeyi genellikle pürüzsüzdür, ancak bazı tohumlar hafif çizgili olabilir. Genellikle kuru ve sert bir dış kabuğa sahip
207	<i>Schinus molle</i> L.	Anacardiaceae	(Yalancı karabiber)	Üzümsü (Berry) meyve	Tohumlar özellikle sert bir kaplamaya sahiptir
208	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	Anacardiaceae	(Brezilya Biber Ağacı)	Üzümsü (Berry) meyve	5 mm çapında, çok sayıda, tek tohum içeren meyvelerdir.
209	<i>Sequoia sempervirens</i> (D.Don) Endl.	Cupressaceae	(Sahil sekoyası)	Kozalak (odunsu)	Her tohum 3–4 mm (1/8–3/16 inç) uzunluğunda ve 0,5 mm (1/32 inç) genişliğinde, iki kanadı 1 mm (1/16 inç) genişliğindedir. Tohumlar, koni pulları kurduğunda ve olgunlaştığında açıldığında serbest bırakılır.
210	<i>Sequoiadendron giganteum</i> (Lindl.) J.Buchholz	Cupressaceae	(Mamut Ağacı)	Kozalak (odunsu)	Tohumlar koyu kahverengidir, 4–5 mm (0,16–0,20 inç) uzunluğunda ve 1 mm (0,04 inç) genişliğindedir ve her iki tarafında 1 milimetre (0,04 inç) genişliğinde, sarı-kahverengi kanat vardır.
211	<i>Sicyos angulatus</i> L.	Cucurbitaceae	İt dolanbacı)	Kapsül meyve	Tohumlar büyüktür (15 mm x 10 mm), koyu kahverengiden siyaha kadar, sıkıştırılmış, pürüzsüz ve kabuklu bir perikarpla kaplıdır
212	<i>Sigesbeckia orientalis</i> L.	Asteraceae	(Sariteçan)	Aken (cypsela) meyve	1-2 mm oval veya elipsoidal genellikle pürüzsüz bazıları hafif çizgili veya tırtıklı olabilir. Tohumların dış kabuğu sert ve kuru.
213	<i>Sigesbeckia pubescens</i> (Makino) Makino	Asteraceae	(Sariteçan)	Aken meyve	2-3 mm, tohumlar dikdörtgen veya hafifçe eliptik Tohum yüzeyi pürüzsüz veya hafifçe tüylü İyi gelişmiş bir embriyo bulunur. Sert ve

					koruyucu bir dış kaplamaya sahiptir.
214	<i>Sisyrinchium angustifolium</i> Mill.	Iridaceae	(Dar yapraklı mavi gözlü çimen)	Kapsül meyve	Genellikle 1-2 mm uzunluğunda dış zar, sert ve koruyucudur. Tohumun iç kısmında embriyo bulunur.
215	<i>Solanum americanum</i> Mill.	Solanaceae	(İt üzümü)	Üzümü (Berry) meyve	1-2 mm çapında tohumlar düz veya hafifçe böbrek şeklinde, sert ve koruyucu bir dış kaplamaya sahip. Tohumun içinde iyi gelişmiş bir embriyo bulunur
216	<i>Solanum villosum</i> Mill.	Solanaceae	(Damat sirkeni)	Üzümü (Berry) meyve	2-3 mm çapında pürüzsüz ve parlak tohumlar düz veya hafifçe böbrek şeklinde olabilir. Tohumun içinde iyi gelişmiş bir embriyo bulunur.
217	<i>Solanum pseudo-capsicum</i> L. *	Solanaceae	(Yalancı süs biberi, Yalancı kırmızı biber, Kudüs kirazı)	Üzümü (Berry) meyve	2-3 mm çapında pürüzsüz ve parlak tohumlar düz veya hafifçe böbrek şeklinde olabilir. Tohumun içinde iyi gelişmiş bir embriyo bulunur.
218	<i>Soleirolia soleirolii</i> (Req.) Dandy	Urticaceae	(Arapsaçı)	Aken meyve	Aken c. 1 mm uzunluğunda, pürüzsüz.
219	<i>Solidago canadensis</i> L.	Asteraceae	(Arsız altınbaşak)	Aken (cypsela) meyve	1 ila 1,5 mm 1,8 ila 2,2 mm uzunluğunda bir tutam beyazımsı tüy vardır.
220	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	Palmae	(Kraliçe Palmiyesi)	Nus meyve	Oval veya yuvarlak şekildedir ve yaklaşık 2-3 cm çapındadır. Dış yüzeyi serttir ve pürüzsüzdür.
221	<i>Symphotrichum laeve</i> (L.) Á.Löve & D.Löve [syn. <i>Aster laevis</i> L.]	Asteraceae	(Simpatı)	Aken meyve	2 ila 3,5 mm uzunluğunda kuru, 4 ila 5 damarlı bir cypsela
222	<i>Symphotrichum pilosum</i> var. <i>pilosum</i> (Willd.) G.L. Nesom	Asteraceae	(Donukpatı)	Aken (cypsela) meyve	2-3 mm tohumlar dikdörtgen veya hafifçe eliptik Tohum yüzeyi pürüzsüz veya hafifçe tüylü İyi gelişmiş bir embriyo bulunur. Sert ve

					koruyucu bir dış kaplamaya sahiptir.
223	Symphytotrichum squamatum (Spreng.) G.L. Nesom [syn. Aster squamatus (Sprengel) Hieron]	Asteraceae	(Arsız simpatı)	Aken meyve	2-4 mm çapında
224	Syringa vulgaris L.	Oleaceae	(Leylak)	Kapsül meyve	Tohumlar 2 (her hücrede 1 adet), 12 mm uzunluğunda ve 5 mm genişliğinde, sıkıştırılmış, kanatlı.
225	Tagetes minuta L.	Asteraceae	(Kokarot)	Aken meyve	2-3 mm çapında ve oval veya silindirik kabuları sert. Her tohum, tek bir embriyo içerir ve ince bir zarla kaplıdır.
226	Tagetes patula L.	Asteraceae	(Kadife çiçeği)	Aken meyve	1-2 cm uzunluğunda tohum yüzeyi pürüzsüz ve parlaktır. Ayrıca tohumun üst kısmında ince, beyaz tüy benzeri yapılar bulunabilir.
227	Thuja plicata Donn ex D.Don	Cupressaceae	(Boylu Mazı)	Kozalak (derimsi)	Tohumlar 4 ila 5 mm (5/32 ila 3/16 inç) uzunluğunda ve 1 mm (1/32 inç) genişliğindedir ve her iki tarafta dar kâğıtsı kanatlar bulunur
228	Trachycarpus fortunei (Hooker) H. Wendl.	Palmae	(Yelpaze palmyesi)	Çekirdekli Sulu meyve (Drupa)	Tohumlar oval şekildedir ve yaklaşık 0.5-1 cm uzunluğundadır. Tohumun dış yüzeyi sert ve pürüzlüdür. Tohum, büyük bir embriyo ve besin depolayan endosperm içerir.
229	Trachyspermum ammi (L.) Sprague ex Turril	Apiaceae	(Nanahan)	Şizokarp meyve	Oval 2 mm uzunluğunda 1 mm genişliğinde.
230	Trigonella corniculata L.	Fabaceae	(Gazal çemenotu)	Bakla (legume) meyve	1-1,5 mm tohum genişliğinden daha uzundur
231	Ulex europaeus L.	Fabaceae	(Dikenli katırtırnağı)	Bakla (legume) meyve	Siyahımsı, parlak, sert 2-8 tohumlu, tüylü. Tohumlar 2,3-2,8 × 2-2,4 mm heksaploid

232	Viburnum rhytidophyllum Hemsl.	Caprifoliaceae	(Buruşuk yapraklı kartopu)	Kapsül meyve	Küçük, yaklaşık 4-6 mm uzunluğunda ve 3-4 mm genişliğinde ohum yüzeyi genellikle pürüzlü ve kabuklu bir yapıya sahip
233	Vigna unguiculata (L.) Walp. subsp. sesquipedalis (L.) Verdcourt	Fabaceae	(Börülce)	Bakla (legume) meyve	8-12 mm
234	Vinca minor L.	Apocynaceae	(Yabani menekşe)	Folikül meyve	Pürüzlü bir yüzeye sahiptir ve 0,7-1 cm uzunluğunda ve yaklaşık 0,2 cm genişliğindedir
235	Vitis labrusca L.	Vitaceae	(Tilki üzümü)	Üzümsü (Berry) meyve	6-8 mm, tohumun dış kabuğu sert ve dayanıklı
236	Vitis riparia Michx s.l.	Vitaceae	(Nehir üzümü)	Üzümsü (Berry) meyve	3-6 mm, tohumun dokusu genellikle sert ve sağlamdır embriyo, endosperm ve dış kabuk olmak üzere üç ana bölümden oluşur
237	Washingtonia filifera (J. Linden ex. Andre) H. Wendl.	Palmae	(Kalm vaşingtonya)	Çekirdekli sulu meyve (Drupa)	Tohumlar genellikle 0.5-1 cm uzunluğunda ve oval şekildedir. Tohumun dış yüzeyi sert ve pürüzsüzdür. Tohum, besin depolayan endosperm ve büyük bir embriyo içerir.
238	Yucca filamentosa L. *	Liliaceae	(Avize çiçeği)	Kapsül meyve	Yaklaşık 2,5 cm uzunluğundadır ve sert, kuru bir kabuğa sahiptirler
239	Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng	Araceae	(Gelin çiçeği)	Üzümsü (Berry) meyve	Tohumların boyutları 1-2 mm çapındadır. Tohumlar, sert bir tohum kabuğu ile kaplıdır. İçeride, embriyo ve besin dokuları (endosperm) bulunur.

7. SONUÇ

Toplamda 72 adet familya bulunmaktadır. En zengin ilk üç familya; Asteraceae, Fabaceae ve Amaranthaceae'dir. En çok türü olan ilk üç cins; Amaranthus, Solonum, Narcissus'tur. Bu çalışma henüz devam etmektedir, ancak yine de çalışılan türlerin en fazla Kapsül meyve (83 takson), Aken meyve (46 takson), ve Üzümsü meyve tipine (23 takson)

sahip oldukları belirlendiğinden bu sıralamanın neredeyse değişmeyeceği kanaati mevcuttur.

Bu çalışmanın bir sonraki aşamasında bu meyve ve tohum türlerinin dağılım mekanizmaları ve tüketicisi olan canlı türleri belirlenecektir. Bu sayede bu tohumların nasıl bir bölgeden diğer bölgelere yayılabildiği konusunda çıkarımlar yapılmaya çalışılacaktır. Ayrıca bu türlerin orman ekosistemlerine olan etkileri, hangi habitatlarda buldukları ve tehditleri araştırılacaktır.

KAYNAKLAR

1. Bojnanský, V., & Fargašová, A. *Taxonomy and Morphology of Seeds*. –In Atlas of seeds and fruits of Central and East-European flora Springer Netherlands. pp. 1-954, 2007.
2. Boissier E. *Flora Orientalis, sive enumeratio plantarum in Oriente a Graecie et Aegypto ad Indiae fines hucusque observatarum. Supplementum* (Ed. R. Buser). H. Georg, Bibliopolam, Genevae et Basileae, 1888.
3. Coşkunçelebi, K., Terzioğlu, S., Vladimirov, V. A new alien species for the flora of Turkey: *Bidens frondosa* L. (Asteraceae). *Turkish Journal of Botany*, 31(5), 477-479, 2007.
4. Davis, P.H. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Vol I-IX.*, University Press, Edinburgh, 1965-85.
5. Davis PH, Mill RR, Tan K (Eds). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, Vol. 10. Edinburgh University Press, Edinburgh, 1988.
6. Güner A, Özhatay N, Ekim T, Başer KHC (Eds). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, Vol. 11, Suppl. 2. Edinburgh University Press, Edinburgh, 2000.
7. Güner A, Aslan S, Ekim T, Vural M, Babaç MT (Eds). *Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler) [List of Turkey Plants]*. Nezahat Gökyiğit Botanic Garden and Flora Research Society Publishing, Istanbul, 2012.
8. İnceer, H., Bal, M., Ceter, T., Pinar, N.M. Fruit structure of 12 Turkish endemic *Tripleurospermum* Sch. Bip. (Asteraceae) taxa and its taxonomic implications. *Plant systematics and evolution*, 298, 845-855, 2012.
9. Komarov VL. *Flora of the U.S.S.R.*, Vol. 1-30, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 1934-1978.
10. Palabaş Uzun, S., Uzun, A., Alici, E. Seed morphology of some selected species of Fabaceae, Polygonaceae, Primulaceae, Violaceae, Rosaceae and Phyllanthaceae. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 2028-2036, 2020.
11. Rechinger, K.H. *Flora Iranica*. Akadademische Druck- u Verlagsanstalt, 1965-1977.
12. Sánchez, S.O. *La flora del valle de México*. Editorial Herrero. México, DF, 1980.

13. Sevgi, E., Hançer, Ç. K., Yılmaz, H., Akkaya, M. A new alien species record for the flora of Turkey: *Proboscidea louisianica* (Miller) Thell. *Eurasian Journal of Forest Science*, 5(2), 19-25, 2017.
14. Spjut, R.W. *A Systematic Treatment of Fruit Types*. Memoirs of the New York Botanical Garden, Bronx, NY 10458. 182 pp. ISBN 0-89327-383-X., 1994.
15. Garden, Bronx, NY 10458. 182 pp. ISBN 0-89327-383-X., 1994. Terzioğlu, S. *Arrhenatherum elatius* subsp. *bulbosum* (Poaceae): A new alien record for the flora of Turkey. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(4), 924-927, 2020.
16. Tunckol, B., Yasayacak, H., Majure, L. C. *Opuntia macrorhiza* Engelm.: a new record of an invasive alien species in the flora of Turkey. 2022.
17. Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine D.H., Walters, S.M. Webb, D.A. (eds.). *Flora Europaea*, Vols. 1-5, Cambridge University Press, Cambridge, 1964-1980.
18. Uludağ, A., Aksoy, N., Yazlık, A., Arslan, Z., Yazmış, E., Üremiş, İ., ... Brundu, G. Alien flora of Turkey: checklist, taxonomic composition and ecological attributes. *NeoBiota*, 35, 2017.
19. Uzun, A., Verloove, F. *Oenothera jamesii* (Onagraceae), a neglected alien plant species in Turkey. *BioInvasions Records*, 12(1), 50-62, 2023.
20. Uzun, A., Palabaş Uzun, S. Micromorphological Studies (Achene/Cypsela) on Selected Asteraceae Taxa Native To Türkiye. *Turkish Journal of Forest Science*, 8(2), 218-229, 2024.
21. Vural C, Ekici M, Akan H, Aytaç Z, Seed morphology and its systematic implications for genus *Astragalus* L. sections *Onobrychoidei* DC., *Uliginosi* Gray and *Ornithopodium* Bunge (Fabaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 274: 255-263, 2008.
22. Weber, E. F. The alien flora of Europe: a taxonomic and biogeographic review. *Journal of Vegetation Science*, 8(4), 565-572, 1997.
23. Wu Z-Y, Raven PH, Hong D-Y. 1994–2006. *Flora of China*. St.Louis: Missouri Botanical Garden Press
24. Yazlık, A., Uremis, I., Uludag, A., Uzun, K., Senol, S. G., Keskin, İ. A New Alien Plant Species in Turkey: *Ipomoea triloba* L. In *NEOBIOTA 2014, Biological Invasions: From understanding to action*, 8th International Conference on Biological Invasions pp. 03-08. November, 2014.
25. Yıldırım, H., Özdöl, T., Yaşayacak, H. An alien species of *Bidens* (Asteraceae): *Bidens pilosa* L., new to the Turkish flora. *Acta Biologica Turcica*, 32(1), 61-64, 2019.
26. Yılmaz, H. *Gamochaeta coarctata*: A new allien species for Turkey. *Turkish Journal of Biodiversity*, 4(2), 77-81, 2021.
27. <https://powo.science.kew.org/> (Erişim tarihi: 30.12.2024)
28. <http://www.theplantlist.org/tpl1.1/search> (Erişim tarihi: 30.12.2024)
29. <https://www.emplantbase.org/home.html> (Erişim tarihi: 30.12.2024)
30. [https://www.alienplants.gr/Alien Plants](https://www.alienplants.gr/Alien%20Plants) (Erişim tarihi: 29.12.2024).
31. <https://ucjeps.berkeley.edu/> (Erişim tarihi: 29.12.2024).
32. https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page Erişim tarihi: 30.12.2024).

33. <https://www.worldfloraonline.org/> (Erişim tarihi: 30.12.2024).
34. <https://idtools.org/identify.cfm?sort=dateDesc> (Erişim tarihi: 30.12.2024).
35. <https://www.plantfileonline.net/> (Erişim tarihi: 30.12.2024).
36. <http://www.bizimbitkiler.org.tr> (Erişim tarihi: 30.12.2024).
37. <https://plantnet.rbgsyd.nsw.gov.au/> (Erişim tarihi: 30.12.2024)
38. <https://vicflora.rbg.vic.gov.au/> (Erişim tarihi: 30.12.2024).
39. <https://www.missouribotanicalgarden.org/> (Erişim tarihi: 30.12.2024).
40. <https://www.nzpcn.org.nz/> (Erişim tarihi: 30.12.2024).
41. <https://linnet.geog.ubc.ca/biodiversity/eflora/> (Erişim tarihi: 30.12.2024).
42. <https://www.wildflower.org/> (Erişim tarihi: 30.12.2024).
43. <https://plants.usda.gov/> (Erişim tarihi: 30.12.2024).
44. <http://floraofalabama.org/> (Erişim tarihi: 30.12.2024).
45. <https://efloraofindia.com/> (Erişim tarihi: 30.12.2024).
46. <https://biodiversity.bt/> (Erişim tarihi: 30.12.2024).
47. <https://www.cabidigitallibrary.org/> (Erişim tarihi:30.12.2024).

TÜRKİYE'YE ENDEMİK *CAMPANULA MACROSTYLA* BOİSS. ET HELDR. TÜRÜNÜN KLOROPLAST GENOMUNUN YAPISAL KARAKTERİZASYONU

Aydın KOÇAK

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilimdalı
akocak.hu@gmail.com- 0009-0005-8535-1874

Doç. Dr. Kurtuluş ÖZGİŞİ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Eskişehir, Türkiye,
kurtulusozgisi@gmail.com - 0000-0002-7344-6666

ÖZET

Campanulaceae (Çan çiçeğigiller) familyası kapalı tohumlu bitkiler içerisinde sınıflandırılması en karmaşık olan familyalardan birisidir ve sahip olduğu 600'den fazla tür ile en büyük familyalar içerisinde değerlendirilmektedir. Kloroplastlar, yeşil bitkilerde ve alglerde bulunan, başta fotosentez olmak üzere bitkilerde birçok fonksiyonel işlevlerin sorumluluğunu üstlenen organellerdir. Kloroplast genomu bitkilerde birçok hayati önemi olan fonksiyonu gerçekleştirdiği için oldukça korunmuş bir yapıya sahiptir. Gerçekleştirilen bu çalışma ile Türkiye'ye endemik *Campanula macrostyla* türünün kloroplast genomu yapısal olarak karakterize edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde toplam genom boyutunun 166.367 bp uzunluğunda olduğu tespit edilmiştir. Sırasıyla 101.320 bp ve 7547 bp uzunluğunda bir büyük tek kopya (LSC) ve bir küçük tek kopya (SSC) ile ayrılan 28.750 bp'lik bir çift ters çevrilmiş tekrar (IRs) bölgesi tespit edilmiş olup plastid genomunun genel GC içeriği %38,8'dir. 85 protein kodlayan gen, 34 tRNA geni ve 7 rRNA geni dahil olmak üzere 126 farklı gen tespit edilmiştir. Bu genler içinde yedi gen bir veya iki intron içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Campanula, Campanulaceae, Kloroplast, Genom.

1. GİRİŞ VEYA BAŞLIK

Yeşil bitkiler (Viridiplantae), canlılar tarafından doğrudan veya dolaylı olarak kullanılan birçok yapısal bileşiği fotosentez yoluyla üreten önemli bir canlı grubudur. Yeşil bitkiler, bu bileşikleri fotosentez adı verilen ve foton enerjisinin kimyasal bağ enerjisine dönüştürüldüğü bir süreç sonucu elde etmektedirler.

Bitki ve alglerde fotosentez, kloroplast olarak bilinen ve fotosentezin temel organeli olarak değerlendirilen organellerde gerçekleştirilmektedir. Kloroplastlar, yaklaşık 2 milyar yıl önce atasal bir siyanobakterinin ilkin bir ökaryotik hücre tarafından fagosite edilmesi ve bu siyanobakterinin sahip olduğu genlerin birçoğunu kaybetmesi veya çekirdeğe ve mitokondriye aktarmasıyla evrimleştiği bilinmektedir. Endosimbiyoz olarak da bilinen bu süreç neticesinde üç genomun (çekirdek, kloroplast ve mitokondri genomları) yapısal durumu çoktan şekillenmiş gibi görünse de karşılıklı gen alış verişinin halen devam eden bir süreç olduğu yapılan çalışmalar ile gösterilmiştir (Timmis vd., 2004).

Kloroplastlar, plastom olarak da adlandırılan kendi genomuna sahip bir organeldir ve kloroplast genomlarının tamamı ilk kez tütün (*Nicotiana tabacum* L.) ve ciğerotu (*Marchantia polymorpha* L.) bitkilerinden 1986 yılında dizilenmiştir (Shinozaki vd., 1986; Ohya vd., 1988). Genel olarak, kara bitkilerindeki kloroplast genomları yüksek oranda korunmuş boyut, yapı ve gen içeriğine sahiptirler.

Boyutsal anlamda kloroplast genomları (120-170 kb), mitokondri (200-750 kb) veya çekirdek (0,10-152 gb) genomlarına göre oldukça küçüktürler (Gualberto vd., 2014).

Yapısal olarak ise karasal bitkilerde kloroplast genomu dört parçalı bir yapı sergilemektedir. Bu dört parçalı yapıdan ikisi birçok geni ve RNA'yı (tRNA; rRNA; fotosentezden sorumlu genler vb.) içeren; 10-30 kb uzunluğunda oldukça korunmuş Inverted Repeat (IRs (IRA ve IRB)) bölgeleridir. IRs bölgeleri, Large Single-Copy (LSC; iki adet Single-Copy (SC) bölgesinden oluşan) ve Small Single-Copy (SSC) olmak üzere iki bölge ile birbirinden ayrılmaktadır (Sato vd., 1999). Dört bölgeden oluşan bu korunmuş yapısal form (Şekil 3) dairesel (circular) kloroplast genomunda görülmekle birlikte Oldenburg ve Bendich (2016) gerçekleştirdikleri çalışmada mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde düz (linear) formda kloroplast DNA'sının varlığını göstermişlerdir. Linear formda olan kloroplast genomunda IRs; LSC ve SSC bölgelerinin homoloğu olarak End1 ve End2 bölgeleri yine Oldenburg ve Bendich (2016) tarafından tanımlanmıştır.

Son olarak içerik açısından karasal bitkilerin kloroplastları tipik olarak fotosentezde yer alan kilit proteinlerin, ribozomal RNA'ların (rRNA) ve transfer RNA'ların (tRNA'lar) kodlanmasından sorumlu yaklaşık 100 geni içermektedirler (Tonti-Filippini vd., 2017).

Yaklaşık gen sayısı bilinen ve kalıtımı anneden(maternal) olan kloroplast DNA'sı paralog genlerden nadiren etkilendiği gerçekleştirilen çalışmalar ile gösterilmiştir. Bu durum kloroplast genom yapısının oldukça korunmasına ve moleküler biyoloji alanındaki araştırmalarda avantaja sahip olmasına neden olmaktadır. Ayrıca, kloroplast genomu, nükleer genom ile mitokondriyal genom arasında bir mutasyon hızına sahiptir. Kodlanan ve kodlamayan bölgeler arasındaki farklı mutasyon hızı nedeniyle kloroplast genomu özellikle çevresel şartlara bağlı olarak mutasyon izinin tespit edilmesinde oldukça belirleyici bir indikatör niteliği taşımaktadır (Ruhfel vd, 2014).

Plastomlar, bitkilerin fonksiyonel işleyişini anlamak; işlevi belirlenen gen veya gen bölgelerini genetik mühendisliği uygulamaları ile geliştirmek ve özellikle bitkiler arasındaki evrimsel ilişkileri yeniden yapılandırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Ruhfel vd, 2014). Belirtilen bu çalışmaların birçoğunda plastomun yapısal karakterizasyonu PZR (Polimeraz Zincir Reaksiyonu) ile çoğaltılan kısa DNA parçalarının birleştirilmesi ile tam kloroplast genomlarının elde edilmesi şeklinde olmaktadır.

Kloroplast genomundan PZR yöntemi ile elde edilen kısa DNA fragmentleri tam kloroplast genomlarının elde edilmesinde kullanılmakla birlikte akrabalık ilişkilerinin tespit edilmesinde (filogenetik) de sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak *rbcL*, *matK* ve *trnH-psbA* gibi bazı diziler yakın akraba bitkiler arasında çok az varyasyon gösterdiği için veya varyasyonun doygunluğu nedeniyle akrabalık ilişkilerini çözmede düşük performans göstermektedir. Diğer taraftan küçük DNA fragmentleri yerine kloroplast genomunun tamamı kullanılarak gerçekleştirilen filogenetik çalışmalar akrabalık ilişkilerinin belirlenmesinde oldukça etkili bir yöntem olarak değerlendirilmektedir (Ruhfel vd., 2014).

Akrabalık ilişkilerinin tespitinde kloroplast genomu önemli bir belirteç olarak nitelendirilmekle birlikte bazı bitki gruplarında kloroplast genomunun yapısal karakterizasyonu ile gen kayıplarının veya bitki soylarındaki genom farklılaşmasının altındaki nedenler tespit edilebilmekte ve bu farklılaşma mekanizmasının aydınlatılmasıyla farklı genetik mühendisliği uygulamaları geliştirilmektedir (Wicke vd., 2016).

Kloroplast genomunun yapısal karakterizasyonu birçok farklı disipline veri sağlaması açısından önemli bir belirteç olarak nitelendirilse de yakın geçmiş zamana kadar kloroplast genom dizilimini elde etmek maliyetli ve zaman alıcı bir yöntem olarak görülmekteydi. Ancak teknolojik gelişimlere bağlı olarak geliştirilen Yeni Nesil Dizileme (Next Generation Sequencing, NGS) yöntemleri total DNA'dan tam kloroplast genomlarının elde edilmesini oldukça ucuz ve kolay hale getirmiştir (Tonti-Filippini vd., 2017).

Kloroplast genomu boyutu tipik olarak nükleer genom boyutundan 3-4 kat daha küçük olmasına rağmen, tam gelişmiş bir hücrede kopya sayısı 2.000'e ulaşabilmektedir (Golczyk vd., 2014). Sonuç olarak, kloroplast DNA'sı genellikle genç yapraklardan çıkarılan toplam DNA'nın %5-20'sini oluşturur ve bu nedenle düşük okuma derinliğinde bile genom sıyırma tekniği (genome skimming sequencing) ile tüm bir kloroplast genomunu bir araya getirmek için yeterli veri, oldukça ucuza ve kısa bir zaman sürecinde, elde edilmektedir (Twyford & Ness, 2017). Teknolojik gelişimlere bağlı olarak daha ucuz ve hızlı bir şekilde plastomların elde edilmesi ayrıca plastomların birçok farklı alanda bilgi verici yapısı nedeniyle kloroplast genom dizilerinin sayısında hızlı bir artış görülmektedir. Şu ana kadar Amerika Ulusal Biyoteknoloji Bilgi Merkezi bünyesinde

(NCBI, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/browse#!/organelles/>) 4000'den fazla plastome verisi erişime açılmış durumdadır.

Bitkilerin farklı habitatlara uyumunda önemli fonksiyonu olduğu düşünülen kloroplast genomunun çevresel şartlardaki değişime verdiği cevapların araştırılması için farklı ülkeler farklı projeler gerçekleştirmek için çalışmalarına başlamış durumdadır. Örneğin Fransa'da ekstrem koşullarda yetişen alpinik bitki türlerinin plastosome sekansını elde etmek adına geniş ölçekli “PhyloAlps” projesi başlatılmış ((<https://www.france-genomique.org/spip/?lang=en>)) ve 6000 alpinik bitkinin tam kloroplast genomunun elde edilmesi planlanmıştır. Benzer şekilde Kuzey Kutup bölgesinin zor çevre şartlarına adapte olmuş bitki türlerinin kloroplast genomu dizilerini elde etmek için Norveç tarafından “NORBOL” projesi başlatılmıştır. Bu proje kapsamında da kuzey kutup bölgesinden 3000 farklı bitki türünün plastosome verisinin eldesi ve bu kloroplast genomlarının zorlu çevre şartlarına adaptasyon mekanizmalarının araştırılması ana hedef olarak belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada Türkiye'ye endemik *Campanula macrostyla* Boiss. et Heldr. türünün kloroplast genomunun yapısal karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Campanulaceae (Çançifeğigiller) familyası (ailesi) kapalı tohumlu bitkiler (Angiosperm) içerisinde sınıflandırılması en karmaşık olan familyalardan birisidir (Damboldt, 1965). Familya kategorisindeki birçok düzenleme sistematik anlamda farklı görüşlerin ortaya çıkmasına neden olmakla birlikte, grup üyelerinin morfolojilerinde; ekolojilerinde; üreme sistemi ve kromozom sayılarındaki varyasyon, farklı araştırmacılar tarafından cins ve tür seviyelerinde de farklı taksonomik yaklaşımların benimsenmesine neden olmaktadır (Damboldt, 1965).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Daha önce gerçekleştirilen arazi çalışmaları ile hedef takson olan *C. macrostyla* türüne ait örnekler yayılış gösterdikleri alanlardan toplanmıştır. Farklı popülasyonlardan taze yaprak örnekleri silika jel içerisine alınıp hızlı bir şekilde bozulmadan kurutulmuş ve kurutulan bu yapraklar genetik çalışmalar için kullanılmıştır.

Silika jel içerisinde kurutulan yaprak örnekleri sıvı azot içerisinde ezilmiş ve elde edilen dokulardan total DNA izolasyonu DNeasy Plant Mini Kit (Qiagen Inc., Valencia, CA, USA) izolasyon kitiyle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen DNAların kalitesi ise nanodrop yardımıyla kontrol edilmiş ve absorbans oranı 1,8-2,0 olan DNA'lar, DNA dizileme kütüphanesinin kurulması ve dizilenmesi işlemine tabi tutulmuştur.

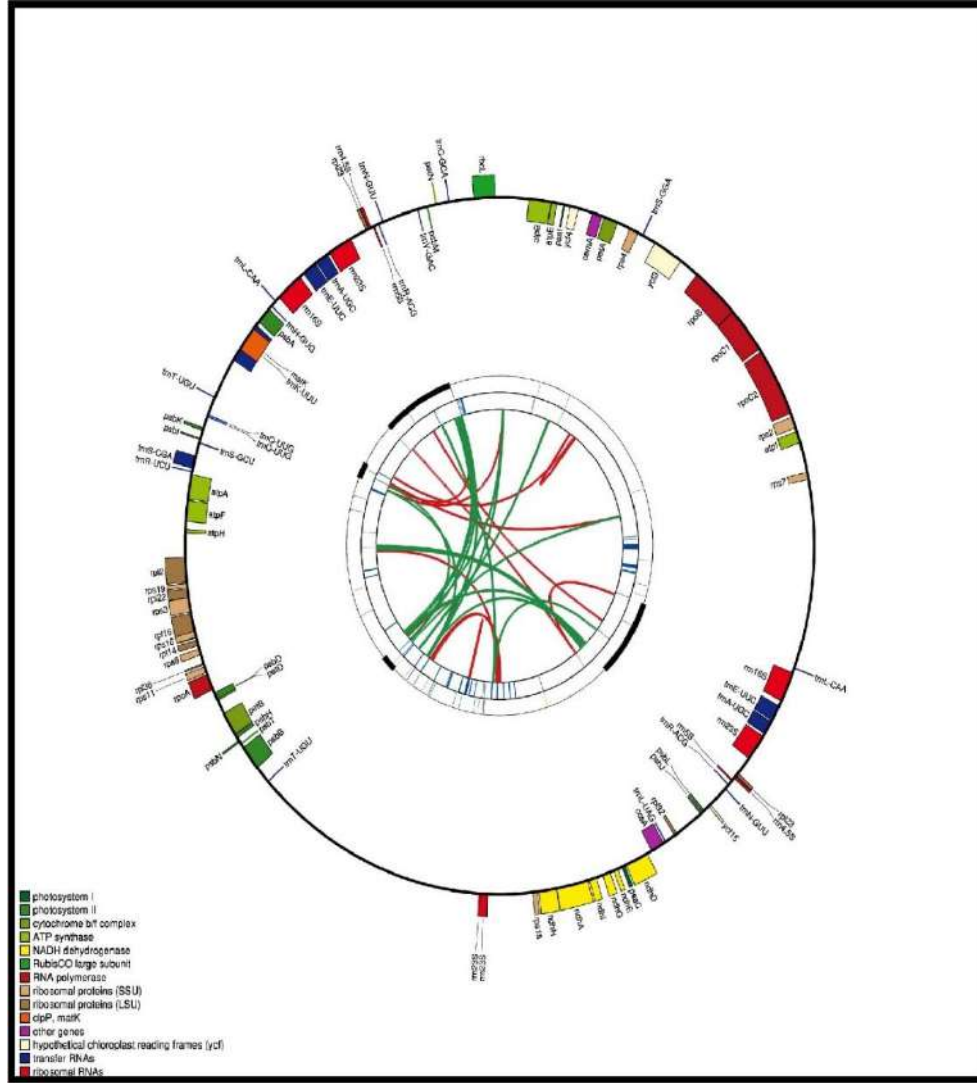
Dizileme sonrası elde edilen ham okumalara ait “fastq” formatındaki sekanslar FastQC (Andrews, 2017; <https://www.bioinformatics.babraham.ac.uk/projects/fastqc/>) yazılımı ile görselleştirilmiş ve adaptör, kısa ve düşük kaliteli okumalar Trimmomatic (Bolger vd., 2014) yazılımı ile filtrelenmiş ve sonuç olarak çalışmanın ileriki aşamalarında

gerçekleştirilecek analizlerde kullanılacak “yüksek kaliteli okumalar” elde edilmiştir. Yüksek kaliteli total DNA okumalarından kloroplast genomunun ayırt edilmesi için GetOrganelle Pipeline ((<https://github.com/Kinggerm/GetOrganelle>, Jin vd., 2018) kullanılmıştır. GetOrganelle Pipeline (Jin vd., 2018) algoritmasında kök (seed) olarak NCBI’da bulunan *Campanula punctata* referans kloroplast genomu olarak kullanılmıştır.

Yüksek çözünürlüklü total DNA’dan kloroplast genomuna ait okumalar çekildikten sonra kloroplast genomuna ait bu okumalar de novo birleştirme (de novo assembly) yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hedef türün kloroplast genomundaki gen bölgelerinin belirlenmesi için hizalama temelli (alignment-based) gen tahminlemesi yöntemi kullanılmış ve kloroplast genomuna ait okumalar CPGAVAS2 annotation tool (Shi vd. 2019)’a kullanılarak rRNA ve tRNA’lar belirlenmiştir. Kloroplast genomunun yapısal annotasyonu gerçekleştirildikten sonra kloroplast genomu OrganellarGenomeDRAW programı (OGDRAW, Lohse vd. , 2013) kullanılarak görselleştirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde toplam genom boyutunun 166.367 bp uzunluğunda olduğu tespit edilmiştir. Sırasıyla 101.320 bp ve 7547 bp uzunluğunda bir büyük tek kopya (LSC) ve bir küçük tek kopya (SSC) ile ayrılan 28.750 bp'lik bir çift ters çevrilmiş tekrar (IRs) bölgesi tespit edilmiştir (Görsel 1). Plastid genomunun genel GC içeriği %38,8'dir.



Görsel 1. *Campanula macrostyla* türünün kloroplast genomuna ait harita.

Gerçekleştirilen çalışmada 85 protein kodlayan gen, 34 tRNA geni ve 7 rRNA geni dahil olmak üzere 126 farklı gen tespit edilmiştir. Bu genler içinde yedi gen bir veya iki intron içermektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Kloroplast genomunun bitkilerde filogenetik; filocoğrafik; fizyolojik gibi birçok farklı disiplinde güvenle kullanılabilir bir veri seti oluşturduğu görülmektedir. Kloroplast genomunun özellikle seçim baskısı karşısında verdiği cevapların araştırılması ve mevcut çevre şartlarındaki değişime bağlı olarak bitkilerin genetik anlamda oluşturduğu koruma mekanizmalarının tespit edilmesi, çevre şartlarının küresel ölçekteki değişimine karşı hazırlıklı olmaya fayda sağlayacaktır. Bu fayda sadece ekonomik önemi olan ve kültürü yapılan bitki grupları için değil ayrıca bitkilerin çevresel değişime ne gibi cevaplar

verdiğinin tespiti ile mevcut biyoçeşitliliğin nasıl korunması gerektiği anlamamıza katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Andrews, S. FastQC: a quality control tool for high throughput sequence data, 2017.
- Bolger, A. M., Lohse, M., & Usadel, B. Trimmomatic: a flexible trimmer for Illumina sequence data. *Bioinformatics*, 30(15), 2114-2120, 2014.
- Damboldt, J. Zytotaxonomische Revision der isophyllen Campanulae in Europa. – *Bot. Jahrb. Syst. Pflanzengesch. Pflanzengeogr.* 84: 302–358, 1965.
- Golczyk, H., Greiner, S., Wanner, G., Weihe, A., Bock, R., Börner, T., & Herrmann, R. G. Chloroplast DNA in mature and senescing leaves: a reappraisal. *The Plant Cell*, 26(3), 847-854, 2014.
- Gualberto, J. M., Mileshina, D., Wallet, C., Niazi, A. K., Weber-Lotfi, F., & Dietrich, A. The plant mitochondrial genome: dynamics and maintenance. *Biochimie*, 100, 107-120, 2014.
- Jin, J. J., Yu, W. B., Yang, J. B., Song, Y., Yi, T. S., & Li, D. Z. GetOrganelle: a simple and fast pipeline for de novo assembly of a complete circular chloroplast genome using genome skimming data. *BioRxiv*, 256479, 2018.
- Lohse, M., Drechsel, O., Kahlau, S., & Bock, R. OrganellarGenomeDRAW—a suite of tools for generating physical maps of plastid and mitochondrial genomes and visualizing expression data sets. *Nucleic acids research*, 41(W1), W575-W581, 2013.
- Ohyama, K., Kohchi, T., Fukuzawa, H., Sano, T., Umesono, K., & Ozeki, H. Gene organization and newly identified groups of genes of the chloroplast genome from a liverwort, *Marchantia polymorpha*. *Molecular Biology of Photosynthesis*, 27-42, 1988.
- Oldenburg, D. J., & Bendich, A. J. The linear plastid chromosomes of maize: terminal sequences, structures, and implications for DNA replication. *Current genetics*, 62, 431-442, 2016.

- Ruhfel, B. R., Gitzendanner, M. A., Soltis, P. S., Soltis, D. E., & Burleigh, J. G. From algae to angiosperms—inferring the phylogeny of green plants (Viridiplantae) from 360 plastid genomes. *BMC evolutionary biology*, 14, 1-27, 2014.
- Sato, S., Nakamura, Y., Kaneko, T., Asamizu, E., & Tabata, S. Complete structure of the chloroplast genome of *Arabidopsis thaliana*. *DNA research*, 6(5), 283-290, 1999.
- Shi, L., Chen, H., Jiang, M., Wang, L., Wu, X., Huang, L., & Liu, C. CPGAVAS2, an integrated plastome sequence annotator and analyzer. *Nucleic acids research*, 47(W1), W65-W73, 2019.
- Shinozaki, K., Ohme, M., Tanaka, M., Wakasugi, T., Hayashida, N., Matsubayashi, T., ... & Sugiura, M. The complete nucleotide sequence of the tobacco chloroplast genome: its gene organization and expression. *The EMBO journal*, 5(9), 2043-2049, 1986.
- Timmis, J. N., Ayliffe, M. A., Huang, C. Y., & Martin, W. Endosymbiotic gene transfer: organelle genomes forge eukaryotic chromosomes. *Nature reviews genetics*, 5(2), 123-135, 2004.
- Tonti-Filippini, J., Nevill, P. G., Dixon, K., & Small, I. What can we do with 1000 plastid genomes?. *The Plant Journal*, 90(4), 808-818, 2017.
- Twyford, A. D., & Ness, R. W. Strategies for complete plastid genome sequencing. *Molecular ecology resources*, 17(5), 858-868, 2017.
- Wicke, S., Müller, K. F., DePamphilis, C. W., Quandt, D., Bellot, S., & Schneeweiss, G. M. Mechanistic model of evolutionary rate variation en route to a nonphotosynthetic lifestyle in plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(32), 9045-9050, 2016.

EVALUATION OF THE EFFECT OF CURCUMIN AND ELLAGIC ACID ON LUCIDIN-INDUCED DNA DAMAGE TO HUMAN PERIPHERAL LYMPHOCYTES BY COMET ASSAY

Ümit HARUROĞLU¹, Deniz ALTUN ÇOLAK²

¹Erzincan Binali Yıldırım University, Institute of Natural and Applied Science

(ORCID: 0000-0003-3134-9072)

²Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Arts and Sciences,

(ORCID: 0000-0002-3576-0355)

ABSTRACT

Lucidin is an anthraquinone derivative metabolite obtained from the root dye plant and used as a dyestuff. Curcumin and ellagic acid are polyphenol-group antioxidants that have recently gained popularity. In this study, the antigenotoxic effects of ellagic acid and curcumin against the possible genotoxicity of lucidin in human peripheral blood lymphocytes were investigated with the comet assay, known as a single-cell gel electrophoresis test method. The study included a negative control (10% DMSO), positive control (EMS; 1 mM), lucidin (LUC; 200 µM), ellagic acid (EA; 50 and 100 µM), curcumin (CUR; 0.1 and 1 µM), LUC+EA, LUC+CUR, and LUC+EA+CUR groups. Counting cells under a fluorescent microscope provided the mean percentage of damaged cells, genetic damage index, tail length, tail DNA density (%), and tail moment. Using the SPSS package program, the results were compared to the negative control group. Genetic damage index, percentage of damaged cells, tail length, and tail moment parameters increased significantly in the LUC group compared to the control. While these values were lower in all EA and CUR groups compared to the control, it was observed that they approached the control in the LUC+EA, LUC+CUR, and LUC+EA+CUR combination groups. As a result, it was observed that LUC induces DNA damage in human peripheral blood lymphocytes, exhibiting a toxic effect. However, the combination of EA and CUR reduced LUC toxicity through their antigenotoxic effects. The study aimed to assess the DNA-protective capabilities of EA and CUR.

Keywords: Comet assay, Curcumin, Ellagic acid, Genotoxicity, Lucidine

1. INTRODUCTION

Medicinal plants have historically been used across different parts of the world for centuries, often without scientific investigation into their safety. These plants have served

various purposes, including food and dye sources. Natural dyes derived from these plants are commonly present in everyday products from industries such as cosmetics, textiles, food, art, and pharmaceuticals. It's worth noting that the plants utilized in synthesizing these products frequently contain toxic substances that might harm humans when consumed or used in other ways (Teixeria et al., 2003; Owolarafe et al., 2020). These harmful effects can vary based on the specific plant species, seasonal and environmental factors, and metal levels in the air, water, and soil (Begaa and Messaoudi, 2019). The escalation of chemical pollution, particularly in recent years, is a consequence of rapid technological advancement. Research has shown that the chemical constituents of plants can possess genotoxic and carcinogenic properties. Concerns have been raised about the potential carcinogenic hazards of these components in humans, urging caution in their therapeutic use (Brown and Brown, 1976; Brown and Dietrich, 1979; Westendorf et al., 1988; Prinsloo et al., 2018). A significant percentage of carcinogenic agents are genotoxic to humans, and a strong relationship between genotoxicity and cancer has been established. As a result of this research, industrial and health organizations have started employing genotoxicity tests as screening tests to determine the cancer risk of physical and chemical agents (Kılıç, 2005; Şekeroğlu and Şekeroğlu, 2011).

Lucidine (LUC), a hydroxyanthraquinone (HA) metabolite, is known to be mutagenic and genotoxic (Kawasaki et al., 1994). Ellagic acid (EA), derived from plants like *Juglans regia*, *Myrciaria cauliflora*, *Punica granatum*, *Rubus caesius*, *Rubus idaeus*, *Sanguisorba officinalis*, and *Terminalia chebula* is a non-enzymatic antioxidant. It's formed through the hydrolysis of ellagitannins, secondary metabolites in these plants' leaves, fruits, and seeds. EA is antimutagenic, antigenotoxic, antiapoptotic, anticarcinogenic, antibacterial, antiviral, antimalarial, anti-allergic, anti-inflammatory, antiatherogenic, antidiabetic, antiepileptic, antidepressant, and has properties such as cardioprotection, hepatoprotection, antioxidant, and antifibrosis (Seeram et al., 2004; Edderkaoui et al., 2008; Çağlar et al., 2017; Erzurum, 2020). Curcumin (CUR), the active component of *Curcuma longa* L. (turmeric), a member of the Zingiberaceae family, is renowned for its potent antioxidant, antibacterial, anticarcinogenic, and antimutagenic effects. It's been studied for its potential in preventing cancer and heart diseases (Sharma, 1976; Toda et al., 1985; Ammon and Wahl, 1991; Jitoe et al., 1992; Masuda et al., 1992; Khanna, 1999; Jayaprakasha et al., 2006; Kunnumakkara et al., 2007; Sandur et al., 2007; Sarvalkar et al., 2011).

This study aimed to investigate the potential antigenotoxic effects of natural phenolic compounds, ellagic acid, and curcumin, against potential DNA damage induced by lucidine, a natural dyestuff, on human peripheral blood lymphocytes, utilizing single-cell gel electrophoresis (comet assay), a rapid, reliable, simple, and cost-effective *in vitro* method sensitive to genotoxic impacts.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Chemicals

Chemical mutagens applied in this study were Lucidin (LUC, PhytoLab), Curcumin (CUR, Sigma), Elagic acid (EA, Acros Organics), Ethyl methanesulfonate (EMS, Sigma), DMSO (Merck), Roswell Park Memorial Medium (RPMI-1640, Sigma), Phosphate Buffer Saline (PBS, Biowest), Penicillin-Streptomycin (Biological Industries), L-Glutamine Solution (Sartorius), Ficoll (Sigma), Ethidium bromide (Sigma), Triton X-100 (Merck), Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA, Sigma), Tris base (Merck), Low melting point agarose (LMPA, MP Biomedicals), Normal melting point agarose (NMPA, Sigma), Na₂EDTA.2H₂O (Sigma E5134), NaCl (Merck), NaOH (Merck), and Triphan blue (Sigma).

2.2. Obtaining Blood Samples

Nine drops of human peripheral blood cells (HPBLs) were collected from four students (two males and two females) under the age of 20 after previous informed consent was obtained. These students had no history of smoking, alcohol consumption, or exposure to chemical substances or environmental pollutants. This data was acquired through the use of a pre-qualifying questionnaire. The HPBLs were centrifuged at 200× g for 10 minutes in three mL of phosphate buffer (containing 2.7 mM KCl, 10 mM KH₂PO₄, 136 mM NaCl, 10 mM Na₂HPO₄, pH 7.4). Following centrifugation, the supernatant was discarded, and the pellet was re-suspended in 500 µL of phosphate buffer (PBS) at 4°C, awaiting subsequent utilization.

2.3. Genetic Damage Induced by LUC, EA, and CUR

To induce genetic damage, each component was combined with a mutagen v/v for two hours and 4°C and at the following final concentrations: (1) Negative control (10% DMSO), (2) Positive control (EMS 1 mM), (3) 200 µM LUC, (4) 50µM EA, (5)100µM EA, (6) 0,5 µM CUR, (7) 1,0 µM CUR, (8) 200 µM LUC+50 µM EA, (9) 200 µM LUC+100 µM EA, (10) 200 µM LUC+0,5 µM CUR, (11) 200µM LUC+1,0µM CUR, (12) 200µM LUC+100µM EA+1µM CUR. After the treatment, all samples were washed three times with PBS, and the pellet was resuspended in 100 µL of the same PBS before being put on the agarose gels. This procedure was repeated twice for each of the four samples.

2.4. Alkaline comet assay (alkaline single-cell gel electrophoresis)

The alkaline single-cell gel electrophoresis (SCGE) was performed as previously described by Singh et al. (1988) with the following modifications: First, microscope slides were covered with a 1% solution of normal melting point agarose (NMPA), allowed to solidify, and then removed, leaving a clean surface. After that, a layer of 0.6% low melting point agarose (LMPA) was applied to each slide. Once it solidified, another layer was added, consisting of 10 µL of a mixture containing whole blood and 90 µL of a 0.5% LMPA solution. Finally, a third layer of 0.5% LMPA was used to cover the second layer. Next, the slides were placed in a lysis solution (containing 10% DMSO, 100 mM EDTA, 10 mM Tris-HCl, 136 mM NaCl, and 1% Triton X-100, pH 10) for 2 hours at a temperature of 11°C. After the lysis step, the slides were introduced into a horizontal

electrophoresis system with an electrophoresis buffer (composed of 200 mM EDTA, 10 N NaOH, pH 13.1) for 45 minutes. The electrophoresis process was carried out for 30 minutes at an electric field strength of 1.0 V/cm and an approximate current of 300 mA, within a temperature range of 10-15°C. After electrophoresis, many washing processes were carried out. First, the slides were rinsed with neutralization buffer (composed of 0.4 M Tris, pH 7.5), and then they were stained with 90 µL of ethidium bromide (at a concentration of 20 µg/mL). Following that, the slides were immersed in distilled water for three minutes. Finally, an extensive rinsing process using distilled water was conducted for 15 minutes.

2.5. Statistical method

If not mentioned otherwise, samples were blinded, and 100 randomly selected comets were evaluated for each experiment. Tail intensities are represented in percentages (=tail intensity (%)) as the mean of at least three separate experiments and their standard deviations. By applying comet analysis, staining was done, images were examined under a fluorescent microscope, and photographs were taken and recorded. Counting and analysis were performed with the Open Comet program, considering 100 cells in each field. Statistical analysis was performed by calculating all studies with SPSS 23. The data were commented on according to the significance level of 0.05.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Negative control (10% DMSO) for determination of genotoxicity, positive control (1 mM EMS) as a chemical agent known to cause genotoxic damage, lucidine (LUC; 200 µM), ellagic acid (EA; 50 and 100 µM), curcumin (CUR; 0,1 and 1 µM), LUC+EA, LUC+CUR, and LUC+EA+CUR groups, a total of 12 working groups were formed and applications were made. Cells treated with LUC, EA, and CUR doses separately and in combination for 24 hours were analyzed by comet assay. While increasing concentrations of EA and CUR were used for LUC+EA and LUC+CUR combinations, EA and CUR concentrations were kept constant in the LUC+EA+CUR combination group, and the highest concentrations were applied.

In the comet test, the viability of cells isolated from cells treated with an agent should be at least 80%. The data obtained from the cellular viability values of all volunteers with the trypan blue test and the average cellular viability values of all administration groups are given in Figure 1.

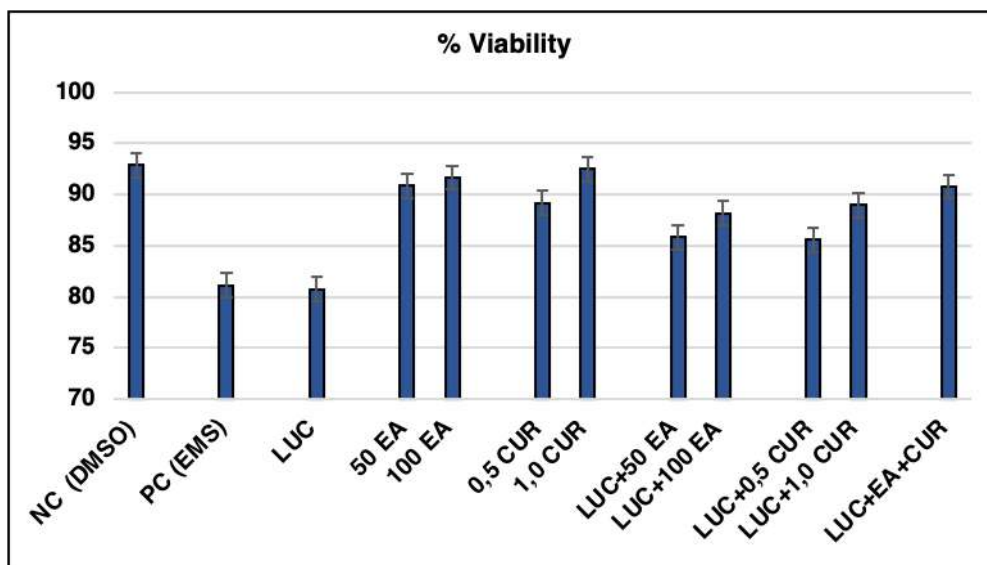


Figure 1. The average cellular viability for all experimental groups was determined by the trypan blue test (NC: Negative control; 10% DMSO, PC: Positive control; 1 mM EMS, LUC: 200 μ M lucidine, EA: 50 and 100 μ M ellagic acid, CUR; 0.1 and 1 μ M curcumin)

The % vitality values in the LUC group declined compared to the DMSO control, but they ascended in the EA, CUR, LUC+EA, and LUC+CUR combination groups and approached the control.

100 cells from each of the treatment groups belonging to each volunteer were counted and the counted cells were classified into five groups type 0, type 1, type 2, type 3, and type 4 according to the damage they had suffered. Genetic damage index (GDI) and damaged cell percentage (DCP) values were determined by the alkaline comet test method in human peripheral blood lymphocytes exposed to chemical agents at determined concentrations (Table 1).

Table 1. Summary findings of data of all volunteers obtained by alkaline comet test

Experimental Groups	N	Type 0	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	GDI	DCP
NC (%10 DMSO)	400	88,75	6	3,5	1	0,75	0,19±0,01	5,25±1,41
PC (1 mM EMS)	400	63	4,5	6,25	9,5	16,75	1,12±0,42 ^a	32,50±3,03 ^a
200 μ M LUC	400	67,5	1,75	3,5	8,5	18,75	1,09±0,02 ^a	30,75±2,17 ^a
50 μ M EA	400	90,5	4,5	3,25	1,5	0,25	0,16±0,07 ^{a,b}	5,00±0,91 ^b
100 μ M EA	400	94,25	3,25	1,25	1	0,25	0,09±0,01 ^{a,b}	2,50±0,78 ^{a,b}
0,5 μ M CUR	400	88,75	7	3,25	0,5	0,5	0,17±0,05 ^b	4,25±1,04 ^{a,b}
1,0 μ M CUR	400	92,25	5	2	0,75	0	0,11±0,02 ^{a,b}	2,75±1,70 ^{a,b}
200 μ M LUC+ 50 μ M EA	400	77,75	12	5,75	3	1,5	0,38±0,27 ^{a,b}	10,25±2,18 ^{a,b}
200 μ M LUC+ 100 μ M E	400	85,25	9,5	3,5	0,75	1	0,22±0,09 ^{a,b}	5,25±1,12 ^b

200 μ M LUC+ 0,5 μ M C ^l	400	77,5	9	7	4,5	2	0,44 \pm 0,15 ^{a,b}	13,50 \pm 3,21 ^{a,b}
200 μ M LUC+ 1,0 μ M C ^l	400	83,25	9,5	4,5	1,75	1	0,27 \pm 0,19 ^{a,b}	7,25 \pm 0,23 ^{a,b}
200 μ M LUC+ 100 μ M E	400	85,5	6,25	4	3,25	1	0,28 \pm 0,04 ^{a,b}	8,25 \pm 1,87 ^{a,b}

Differences between values represented by exponential letters are significant at the $p < 0.001$ level compared to NC (10% DMSO) for μ M LUC for ^b.

In the alkaline comet assay, tail length (TL), percentage of DNA in the tail (% T-DNA), and tail moment (TM) were determined following exposure of human peripheral blood lymphocytes to different concentrations of LUC, EA, and CUR individually and in combination for 24 hours. For each volunteer, a total of 200 comets, with 50 comets per volunteer, were evaluated for alkaline comet scoring of the treatment groups. Tail length (TL) is specifically used to assess low levels of DNA damage. In the DMSO negative control group, the TL value was determined to be $19.54 \pm 2.32 \mu\text{m}$, while in the EMS positive control group, this value was found to be $87.31 \pm 13.29 \mu\text{m}$. In the LUC group, the TL value was $86.79 \pm 11.09 \mu\text{m}$. As the concentrations of EA and CUR increased, the TL values gradually neared those of the negative control.

Similarly, in the combination groups of LUC, EA, and CUR, TL values decreased, approaching those of the negative control. The observed differences in TL values were statistically significant ($p < 0.001$). Figure 2 displays the values for the tail length parameter for the treatment groups.

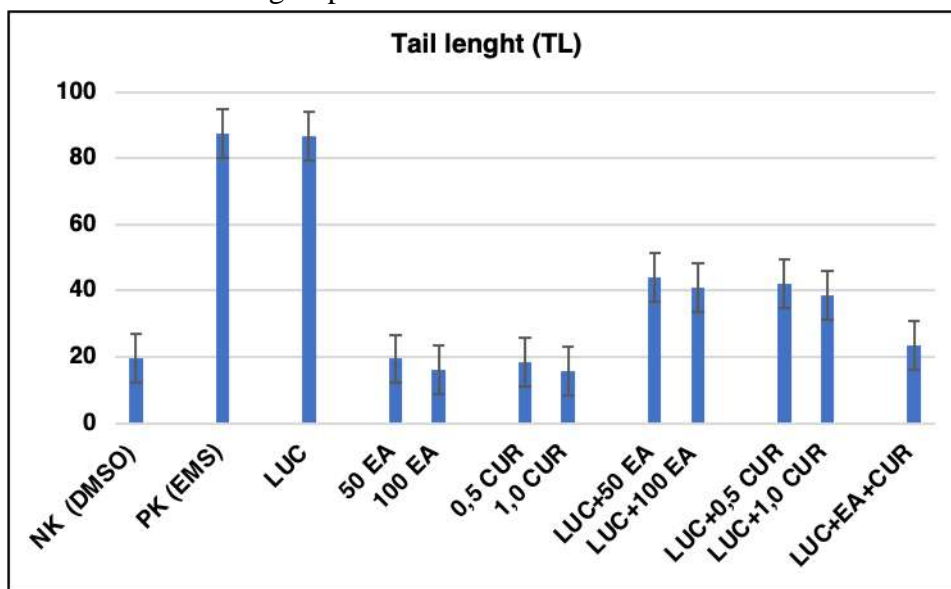


Figure 2. DNA tail length caused by DNA damage in human peripheral lymphocytes (NC: Negative control; 10% DMSO, PC: Positive control; 1 mM EMS, LUC: 200 μ M lucidine, EA: 50 and 100 μ M ellagic acid, CUR; 0.1 and 1 μ M curcumin)

As DNA damage increases, the density of the tail also increases. Another useful parameter is the percentage of DNA tail density (% T-DNA), which is linearly related to the frequency of breaks. In the DMSO negative control group, the % T-DNA value is 11.43.

In the positive control group, this value is 79.73, and it is statistically significantly increased compared to the negative control in terms of the % T-DNA parameter, indicating DNA damage ($p < 0.001$). Similar to the TL values, % T-DNA parameter values in the LUC, EA, and CUR combination groups decreased compared to the LUC group, as shown in Figure 3.

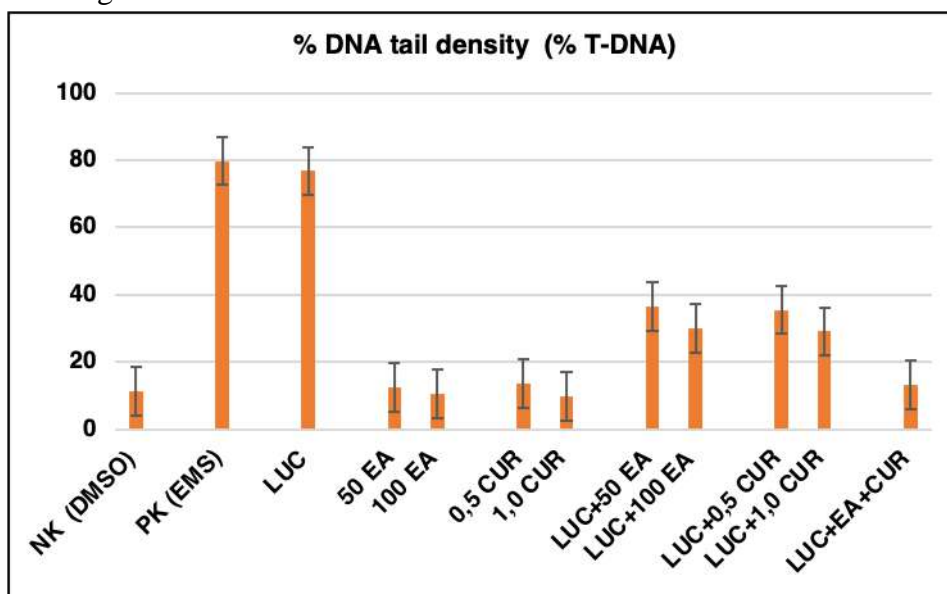


Figure 3. % DNA tail density associated with DNA damage in human peripheral lymphocytes (NC: Negative control; 10% DMSO, PC: Positive control; 1 mM EMS, LUC: 200 μ M lucidine, EA: 50 and 100 μ M ellagic acid, CUR; 0.1 and 1 μ M curcumin)

Tail moment combines tail length, tail density, and tail DNA percentage into a single value, making it the most useful and commonly used parameter. Tail moment (TM) is a value obtained by dividing the product of tail length (TL) and tail DNA percentage (% T-DNA) by 100. TM values were determined as $2.23 \pm 0.19 \mu$ m for the negative control and $69.61 \pm 9.41 \mu$ m for the positive control groups, respectively. In the LUC treatment group, the observed TM value was $66.65 \pm 5.12 \mu$ m, which decreased to $3.10 \pm 0.13 \mu$ m in the LUC+EA+CUR group, approaching that of the negative control. It was determined that the observed differences in TM values were statistically significant ($p < 0.001$). TM values for LUC, EA, and CUR, individually and in combination groups, are shown in Figure 4.

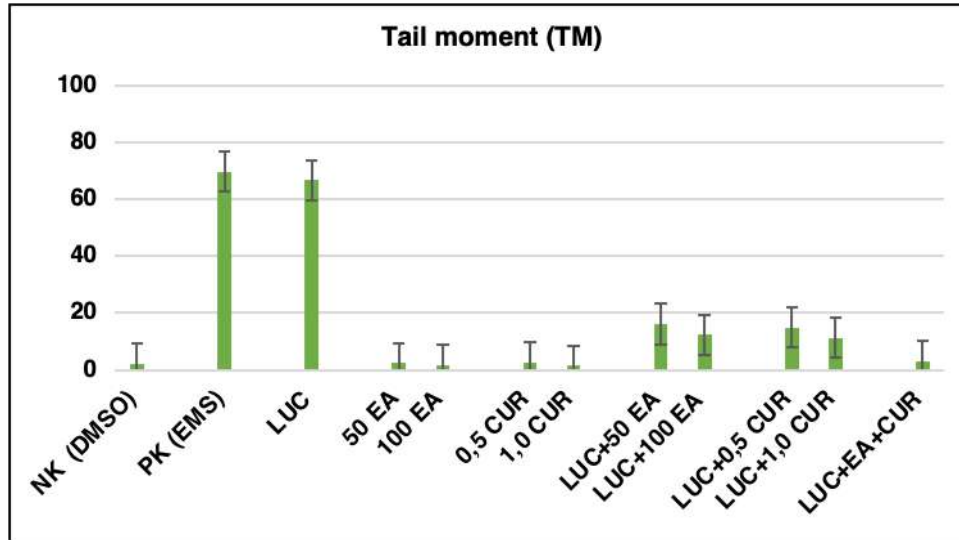


Figure 4. Tail moment caused by DNA damage in human peripheral lymphocytes (NC: Negative control; 10% DMSO, PC: Positive control; 1 mM EMS, LUC: 200 μ M lucidine, EA: 50 and 100 μ M ellagic acid, CUR; 0.1 and 1 μ M curcumin)

4. DISCUSSION

The Comet assay, also known as Single Cell Gel Electrophoresis (SCGE), is widely used in various fields such as ecotoxicology, clinical studies, bio-monitoring, and cancer research. This method enables the identification of genotoxic effects caused by chemical and physical agents on living organisms at the DNA level. Genotoxicity was determined using the alkaline comet assay by analyzing cells treated for 24 hours with 200 μ M LUC, 50 and 100 μ M EA, 0.1 and 1 μ M CUR, individually and in combination. Genetic damage index, percentage of damaged cells, tail DNA density (%), tail length, and tail moment were calculated from the obtained data and compared with the literature.

In genotoxic tests conducted on the mutagenicity of the natural dye LUC, data obtained from the Ames Salmonella/microsomal test using *Salmonella typhimurium* strains indicated that LUC was found to be mutagenic (Yasui and Takeda, 1983). LUC was shown to produce single-strand DNA breaks and promote DNA-protein cross-links in genotoxic assays on V79 (Chinese hamster fibroblast) and C3H/M2 (mouse fibroblast and liver) cell lines (Bachur et al., 1978; Westendorf et al., 1988). Furthermore, there are studies demonstrating that LUC, a natural anthraquinone, and its derivatives induce damage to DNA by inducing transversions and transitions in both *in vivo* and *in vitro* studies (Poginsky et al., 1991; Kawasaki et al., 1994; Ghodke et al., 2015; Yockey et al., 2017; Ishii et al., 2019; Ishii et al., 2022).

The visual and computer analysis results also demonstrate that LUC significantly increased the genetic damage index and cell damage percentage compared to the negative control. Similarly, an increase in tail DNA frequency (%), tail length, and tail moment was observed in the LUC group compared to the control. The differences detected between the LUC and control groups suggest that LUC causes DNA damage, increasing

chromosomal abnormalities in human peripheral cells. The obtained results support the existing literature.

Numerous research in the literature on the natural phenolic compounds EA and CUR show that EA has cytotoxic and antiproliferative effects in cancer cells, causing apoptosis (Losso et al., 2004; Labrecgue et al., 2005; Li et al., 2005; Seeram et al., 2005; Han et al., 2006; Larrosa et al., 2006; Edderkaoui et al., 2008; Kim et al., 2009; Hagiwara et al., 2010; Malik et al., 2011; Bozkurt et al., 2012; Erenoğlu, 2012; Chung et al., 2013; Umesalma et al., 2015; Guo et al., 2016; Cheng et al., 2017). The protective effect of EA against nicotine-induced toxicity in rat peripheral blood lymphocytes was analyzed using comet and MN assays, and it was reported that 100 μ M EA provided maximum protection by reducing the activity of lipid peroxidase enzyme, preventing toxicity (Sudheer et al., 2007). In another study where the protective effect of EA against hepatocyte damage resulting from oxidative stress was tested in both *in vivo* and *in vitro* studies, it was shown that EA reduced the production of reactive oxygen species by preventing mitochondrial depolarization in hepatocyte cells. Additionally, EA prevented apoptotic and necrotic cell damage. Furthermore, EA was shown to lead to the death of damaged liver cells and protect cells against increases in AST (aspartate transaminase), ALT (alanine transaminase), and GSH (glutathione). It was also indicated that EA protected cells against micronucleus formation in polychromatic erythrocytes in mouse bone marrow, demonstrating the prevention of DNA damage through the Comet assay (Gradecka-Meesters et al., 2011).

The protective effect of EA on the kidneys of Swiss albino mice induced with cyclophosphamide was investigated using the micronucleus test. The results of the MN test indicated that EA significantly reduced oxidative stress, DNA damage, and genotoxicity in kidney cells by reducing DNA strand breaks and micronucleus formation (Rehman et al., 2012). The use of EA against cisplatin-induced nephrotoxicity, which leads to oxidative stress formation, resulted in a significant reduction in elevated plasma creatinine, urea, and calcium levels caused by cisplatin, and it was found to prevent cisplatin-induced oxidative stress in Sprague-Dawley rats (Ateşşahin et al., 2006). In another study investigating the protective effect of EA against cardiotoxicity in rats, EA was found to reduce tissue damage by demonstrating antioxidant activity (Hemmati et al., 2018).

CUR, like many other plant-based products, is known to have high bioavailability, a wide biological spectrum, and a non-toxic potent antioxidant (Topal and Uğur, 2021). Numerous studies have aimed to evaluate its therapeutic and cytotoxic effects, owing to its anti-inflammatory, antimicrobial, antidiabetic, antibacterial, and antioxidant properties (Ekici, 2022). In studies conducted on mice and rats, CUR has been found to exhibit a protective effect due to its antioxidant properties, preventing lipid peroxidation and protein oxidation in brain, stomach, and liver tissues (Inano and Onoda, 2002; Manikandan et al., 2004; Swarnakar et al., 2005; Siddiqui et al., 2006; Sumanont et al., 2006). Additionally, CUR has been shown to have a strong immunomodulatory effect (Jagetia and Aggarwal, 2007; Türker, 2018). CUR has been shown to decrease

chromosomal abnormalities induced by chlorpyrifos in mice through its antioxidant effects (Eren et al., 2019). CUR, a phenolic compound, has been indicated to have potent inhibitory activity against the COVID-19 protease, suggesting that it could be considered a COVID-19 antiprotease drug (Mohammadi and Shaghghi, 2020). When applied to cancer cell lines such as the brain and breast at different doses, CUR has been shown to reduce cell proliferation and induce oxidative stress, and apoptosis (Bektur Aykanat and Kaçar, 2021; Kar and Hacıoğlu, 2021).

Furthermore, it has been shown that EA and CUR inhibit DNA strand breaks and reduce the induction of micronuclei and chromosomal abnormalities in irradiated mice (Thresiamma and Kuttan, 1998). In a study on mice, enzyme inhibition of increased protein kinase C activity due to radiation exposure was achieved after CUR and EA treatment (Varadkar et al., 2001). EA and CUR have also been found to reduce free radicals and prevent DNA damage, exhibiting anticarcinogenic effects in carcinoma cells (Kumar et al., 2016).

In light of all this data, it has been observed that LUC exhibits a toxic effect by causing DNA damage in human peripheral blood lymphocytes, and the doses of EA and CUR used in the study reduce genotoxicity resulting from LUC toxicity. Furthermore, although there are studies indicating the genotoxicity and mutagenicity of the chemical agents used in our research or their antigenotoxic and antioxidant properties, no literature has been found on the combined use of phenolic compounds EA and CUR on DNA damage caused by LUC in human peripheral lymphocyte cells. Therefore, our study is considered to be original.

5. CONCLUSIONS

In today's world, the rapid increase in the use of chemical substances and additives, such as natural colorants and antioxidants used in food, as well as in various industries like cosmetics, textiles, and agriculture, highlights the importance of determining whether these chemicals and additives have adverse effects on the genetic makeup of living organisms. Investigating the genotoxic potential of these substances, preventing their adverse effects, and ensuring their use within the specified legal limits are crucial for food safety, human health, and quality of life. Increasing awareness among producers and consumers is essential for achieving these goals.

ACKNOWLEDGMENTS The Erzincan Binali Yıldırım University Research Foundation funded this study. The authors thank Erzincan Binali Yıldırım University for financial support for the project [Project Number = FYL-2019-651].

REFERENCES

Ammon HP, Wahl MA (1991) Pharmacology of *Curcuma longa*. *Planta Med* 57(01): 1-7.

- Ateşşahin A, Çeribaşı AO, Yuce A, Bulmus Ö, Çikim G (2007) Role of ellagic acid against cisplatin-induced nephrotoxicity and oxidative stress in rats. *Basic Clin Pharmacol Toxicol* 100(2): 121-126.
- Bachur NR, Gordon SL, Gee MV (1978) A general mechanism for microsomal activation of quinone anticancer agents to free radicals. *Cancer Res* 38(6): 1745-1750.
- Begaa S, Messaoudi M (2019) Toxicological aspect of some selected medicinal plant samples collected from Djelfa, Algeria Region. *Biol Trac Elem Res* 187(1): 301-306.
- Bektur Aykanat NE, Kaçar S (2021) Investigation of dose-dependent effect of curcumin on T-47D breast cancer cells. *Journal of Uludag University Medical Faculty* 47(2): 241-245.
- Bozkurt Y, Firat U, Atar M, et al. (2012) The protective effect of ellagic acid against renal ischemia-reperfusion injury in male rats. *Kafkas Univ Vet Fak Derg* 18(5): 823-828.
- Brown JP, Brown RJ (1976) Mutagenesis by 9, 10-anthraquinone derivatives and related compounds in *Salmonella typhimurium*. *Mutat Res Gen Tox* 40(3): 203-224.
- Brown JP, Dietrich PS (1979) Mutagenicity of anthraquinone and benzanthrone derivatives in the Salmonella/microsome test: activation of anthraquinone glycosides by enzymic extracts of rat cecal bacteria. *Mutat Res Gen Tox* 66(1): 9-24.
- Cheng H, Lu C, Tang R, et al. (2017) Ellagic acid inhibits the proliferation of human pancreatic carcinoma PANC-1 cells in vitro and in vivo. *Oncotarget* 8(7): 12301.
- Chung YC, Lu LC, Tsai MH, et al. (2013) The inhibitory effect of ellagic acid on cell growth of ovarian carcinoma cells. *Evid Based Complement Alternat Med* 2013.
- Çağlar HO, Süslüer SY, Kavaklı Ş, Gündüz C, Ertürk B, Özkınay F, Haydaroğlu A (2017) Ellagic acid induced expression of miRNAs in breast cancer stem cells and effect of ellagic acid on apoptosis. *Ege J Med* 56(4):183-192.
- Edderkaoui M, Odinkova I, Ohno I, et al. (2008) Ellagic acid induces apoptosis through inhibition of nuclear factor κ B in pancreatic cancer cells. *WJG* 14(23): 3672.
- Ekici S (2022) Protective effect of curcumin on the ligamentum periodontale cell line exposed to high glucose concentration. Pamukkale University, Doctoral Thesis.
- Eren B, Dinç N, Selçuk AY, Kefelioğlu H (2019) Ameliorative and protective effect of antioxidant curcumin against chlorpyrifos induced chromosome aberrations. *Biharian Biol* 13 (2): 110-113.
- Erenoğlu N (2012) Cytotoxicity effects of ellagic acid on different human breast cancer cells. Anadolu University, Master Thesis.
- Erzurum M (2020) Investigation of the effects of folic acid and ellagic acid in ochratoxin A toxication. Aydın Adnan Menderes University, Doctoral Thesis.

- Ghodke PP, Harikrishna S, Pradeepkumar PI (2015) Synthesis and polymerase-mediated bypass studies of the N 2-deoxyguanosine DNA damage caused by a lucidin analogue. *J Org Chem* 80(4): 2128-2138.
- Gradecka-Meesters D, Palus J, Prochazka G, et al. (2011) Assessment of the protective effects of selected dietary anticarcinogens against DNA damage and cytogenetic effects induced by benzo [a] pyrene in C57BL/6J mice. *Food Chemical Toxicol* 49(8): 1674-1683.
- Guo H, Zhang D, Fu Q (2016) Inhibition of cervical cancer by promoting IGF1BP7 expression using ellagic acid from pomegranate peel. *Med Sci Monit* 22: 4881.
- Hagiwara Y, Kasukabe T, Kaneko Y, Niitsu N, Okabe-Kado J (2010) Ellagic acid, a natural polyphenolic compound, induces apoptosis and potentiates retinoic acid-induced differentiation of human leukemia HL-60 cells. *Int J Hematol* 92: 136-143.
- Han DH, Lee MJ, Kim JH (2006) Antioxidant and apoptosis-inducing activities of ellagic acid. *Anticancer Res* 26(5A): 3601-3606.
- Hemmati AA, Olapour S, Varzi HN, et al. (2018) Ellagic acid protects against arsenic trioxide-induced cardiotoxicity in rat. *Hum Exp Toxicol* 37(4): 412-419.
- Inano H, Onoda M (2002) Radioprotective action of curcumin extracted from *Curcuma longa* LINN: inhibitory effect on formation of urinary 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine, tumorigenesis, but not mortality, induced by γ -ray irradiation. *IJROBP* 53(3): 735-743.
- Ishii Y, Kijima A, Takasu S, Ogawa K, Umemura T (2019) Effects of inhibition of hepatic sulfotransferase activity on renal genotoxicity induced by lucidin-3-O-primeveroside. *J Appl Toxicol* 39(4): 650-657.
- Ishii Y, Nakamura K, Mitsumoto T, et al. (2022) Visualization of the distribution of anthraquinone components from madder roots in rat kidneys by desorption electrospray ionization-time-of-flight mass spectrometry imaging. *Food Chem Toxicol* 161: 112851.
- Jagetia GC, Aggarwal BB (2007) Spicing up of the immune system by curcumin. *J Clin Immunol* 27: 19-35.
- Jayaprakasha GK, Rao LJ, Sakariah KK (2006) Antioxidant activities of curcumin, demethoxycurcumin and bisdemethoxycurcumin. *Food Chem* 98(4): 720-724.
- Jitoe A, Masuda T, Tengah IGP, Suprpta DN, Gara IW, Nakatani N (1992) Antioxidant activity of tropical ginger extracts and analysis of the contained curcuminoids. *J Agric Food Chem* 40(8): 1337-1340.
- Kar F, Hacıoğlu C (2021) Anti-oxidative and apoptotic properties of curcumin as a mechanism of its antineoplastic potential in U251 cells. *Biodivers Conserv* 14(2): 258-268.
- Kawasaki Y, Goda Y, Noguchi H, Yamada T (1994) Identification of adducts formed by reaction of purine bases with a mutagenic anthraquinone, Lucidin: mechanism of

- mutagenicity by anthraquinones occurring in Rubiaceae plants, *Chem Pharm Bull* 42(9): 1971-1973.
- Khanna NM (1999) Turmeric Nature's precious gift. *Curr Sci* 76(10):1351-1356.
- Kılıç A (2005) Genotoxic activity of essential oils and monoterpenes studies. Anadolu University, Master Thesis.
- Kim S, Gaber MW, Zawaski JA, Zhang F, Richardson M, Zhang XA, Yang Y (2009) The inhibition of glioma growth in vitro and in vivo by a chitosan/ellagic acid composite biomaterial. *Biomaterials* 30(27): 4743-4751.
- Kumar D, Basu S, Parija L, et al. (2016) Curcumin and ellagic acid synergistically induce ROS generation, DNA damage, p53 accumulation and apoptosis in HeLa cervical carcinoma cells. *Biomed. Pharmacother* 81: 31-37.
- Kunnumakkara AB, Guha S, Krishnan S, Diagaradjane P, Gelovani J, Aggarwal BB (2007) Curcumin potentiates antitumor activity of gemcitabine in an orthotopic model of pancreatic cancer through suppression of proliferation, angiogenesis, and inhibition of nuclear factor- κ B-regulated gene products. *Cancer Res* 267(8): 3853-3861.
- Labrecque L, Lamy S, Chapus A, et al. (2005) Combined inhibition of PDGF and VEGF receptors by ellagic acid, a dietary-derived phenolic compound. *Carcinog* 26(4): 821-826.
- Larrosa M, Tomás-Barberán FA Espín, JC (2006) The dietary hydrolysable tannin punicalagin releases ellagic acid that induces apoptosis in human colon adenocarcinoma Caco-2 cells by using the mitochondrial pathway. *J Nutr Biochem* 17(9): 611-625.
- Li TM, Chen GW, Su CC, et al. (2005) Ellagic acid induced p53/p21 expression, G1 arrest and apoptosis in human bladder cancer T24 cells. *Anticancer Res* 25(2A): 971-979.
- Losso JN, Bansode RR, Trappey II A, Bawadi HA, Truax R (2004) In vitro anti-proliferative activities of ellagic acid. *J Nutr Biochem* 15(11): 672-678.
- Malik A, Afaq S, Shahid M, Akhtar K, Assiri A (2011) Influence of ellagic acid on prostate cancer cell proliferation: A caspase-dependent pathway. *Asian Pac J Trop Med* 4(7): 550-555.
- Manikandan P, Sumitra M, Aishwarya S, Manohar BM, Lokanadam B, Puvanakrishnan R (2004) Curcumin modulates free radical quenching in myocardial ischaemia in rats. *Int J Biochem Cell Biol* 36(10): 1967-1980.
- Masuda T, Isobe J, Jitoe A, Nakatani N (1992) Antioxidative curcuminoids from rhizomes of *Curcuma xanthorrhiza*. *Phytochem* 31(10): 3645-3647.
- Mohammadi N, Shaghghi N (2020) Inhibitory effect of eight secondary metabolites from conventional medicinal plants on COVID-19 virus protease by molecular docking analysis. *ChemRxiv*.

- Owolarafe TA, Salawu K, Ihegboro GO, Ononamadu C, Alhassan AJ, Wudil AM (2020) Investigation of cytotoxicity potential of different extracts of *Ziziphus mauritiana* (Lam) leaf *Allium cepa* model. *Toxicol Rep* 7: 816-821.
- Poginsky B, Westendorf J, Blömeke B, et al. (1991) Evaluation of DNA-binding activity of hydroxyanthraquinones occurring in *Rubia tinctorum* L. *Carcinog* 12(7): 1265-1271.
- Prinsloo G, Nogemane N, Street R (2018) The use of plants containing genotoxic carcinogens as foods and medicine. *Food Chem Toxicol* 116: 27-39.
- Rehman MU, Tahir M, Ali F, et al. (2012) Cyclophosphamide-induced nephrotoxicity, genotoxicity, and damage in kidney genomic DNA of Swiss albino mice: the protective effect of Ellagic acid. *Mol Cell Biochem* 365: 119-127.
- Sandur SK, Pandey MK, Sung B, et al. (2007) Curcumin, demethoxycurcumin, bisdemethoxycurcumin, tetrahydrocurcumin and turmerones differentially regulate anti-inflammatory and anti-proliferative responses through a ROS-independent mechanism. *Carcinog* 28(8): 1765-1773.
- Sarvalkar PP, Walvekar MV, Bhopale LP (2011) Antioxidative effect of curcumin (*Curcuma longa*) on lipid peroxidation and lipofuscinogenesis in submandibular gland of D-galactose-induced aging male mice. *J Med Plant Res* 5(20): 5191-5193.
- Seeram NP, Adams LS, Henning SM, et al. (2005) In vitro antiproliferative, apoptotic and antioxidant activities of punicalagin, ellagic acid and a total pomegranate tannin extract are enhanced in combination with other polyphenols as found in pomegranate juice. *J Nutr Biochem* 16(6): 360-367.
- Seeram NP, Lee R, Heber D (2004) Bioavailability of ellagic acid in human plasma after consumption of ellagitannins from pomegranate (*Punica granatum* L.) juice. *Clin Chim Acta* 348(1-2): 63-68.
- Sharma OP (1976) Antioxidant activity of curcumin and related compounds. *Biochem Pharmacol* 25(15): 1811-1812.
- Siddiqui AM, Cui X, Wu R, et al. (2006) The anti-inflammatory effect of curcumin in an experimental model of sepsis is mediated by up-regulation of peroxisome proliferator-activated receptor- γ . *Crit Care Med* 34(7): 1874-1882.
- Singh NP, McCoy MT, Tice RR, Schneider EL (1988) A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Exp Cell Res* 175(1): 184-191.
- Sudheer AR, Muthukumar S, Devipriya N, Menon VP (2007) Ellagic acid, a natural polyphenol protects rat peripheral blood lymphocytes against nicotine-induced cellular and DNA damage in vitro: with the comparison of N-acetylcysteine. *Toxicology* 230(1): 11-21.

- Sumanont Y, Murakami Y, Tohda M, Vajragupta O, Watanabe H, Matsumoto K (2006) Prevention of kainic acid-induced changes in nitric oxide level and neuronal cell damage in the rat hippocampus by manganese complexes of curcumin and diacetylcurcumin. *Life Sci* 78(16): 1884-1891.
- Swarnakar S, Ganguly K, Kundu P, Banerjee A, Maity, Sharma AV (2005) Curcumin regulates expression and activity of matrix metalloproteinases 9 and 2 during prevention and healing of indomethacin-induced gastric ulcer. *JBC* 280(10): 9409-9415.
- Şekeroğlu ZA, Şekeroğlu V (2011) Genetic toxicity tests. *TÜBAV* 4(3): 221-229.
- Teixeira RDO, Camparoto ML, Mantovani MS, Vicentini VEP (2003) Assessment of two medicinal plants, *Psidium guajava* L. and *Achillea millefolium* L., in in vitro and in vivo assays. *Genet Mol Biol* 26: 551-555.
- Thresiamma K, George J, Kuttan R (1998) Protective effect of curcumin, ellagic acid and bixin on radiation induced genotoxicity. *J Exp Clin Cancer Res* 17(4): 431-434.
- Toda S, Miyase T, Arichi H, Tanizawa H, Takino Y (1985) Natural antioxidants. III. Antioxidative components isolated from rhizome of *Curcuma longa* L. *Chem Pharm Bull* 33(4): 1725-1728.
- Topal BG, Uğur SG (2021) Uses of curcumin in dentistry. *Dent Med J-R* 3(3): 15-24.
- Türker C (2018) Investigation of the effects of kurkumin reaction on oxidant / antioxidant status of liver daw in adult rats. Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Master Thesis.
- Umesalma S, Nagendraprabhu P, Sudhandiran G (2015) Ellagic acid inhibits proliferation and induced apoptosis via the Akt signaling pathway in HCT-15 colon adenocarcinoma cells. *Mol Cell Biochem* 399: 303-313.
- Varadkar P, Dubey P, Krishna M, Verma NC (2001) Modulation of radiation-induced protein kinase C activity by phenolics. *J Radiol Prot* 21(4): 361.
- Westendorf J, Poginsky B, Marquard H, Groth G, Marquardt H (1988) The genotoxicity of lucidin, a natural component of *Rubia tinctorum* L., and lucidinethylether, a component of ethanolic *Rubia* extracts. *Cell Biol Toxicol* 4: 225-239.
- Yasui Y, Takeda N (1983) Identification of a mutagenic substance, in *Rubia tinctorum* L. (madder) root, as lucidin. *Mutat Res Lett* 121(3-4): 185-190.
- Yockey OP, Jha V, Ghodke PP, et al. (2017) Mechanism of error-free DNA replication past lucidin-derived DNA damage by human DNA polymerase κ . *Chem Res Toxicol* 30(11): 2023-2032.

KURKUMİN KAPLI AG NANOPARTİKÜLLERİNİN ANTİKANSER AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ

Dr. Tuğba ATICI

T.C Milli Eğitim Bakanlığı,
asel_msn@hotmail.com- ORCID: 0000-0002-4798-935X

Assoc. Prof. Dr. Deniz ALTUN ÇOLAK

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü,
daltun@erzincan.edu.tr- ORCID: 0000-0002-3576-0355

ÖZET

Kanser hücrelerin kontrolsüz çoğalması sonucunda oluşan, klinik görünüşleri ve tedavileri birbirinden farklı olan hastalıklar grubudur. Kansere bağlı ölümlerde, akciğer kanserinden sonra ikinci sırada meme kanseri yer almaktadır. Kanser kişilerde sosyal, ruhsal ve fiziksel sorunlara yol açarken bir yandan da tedavinin pahalılığı sosyoekonomik sorunları ortaya çıkarmaktadır. Bu açıdan bakıldığında kanser bir toplum sorunudur. Kanserle mücadelenin temel önceliği hastalığın tedavi ve önlenmesini büyük ölçüde iyileştirmek için yeni mekanizmalar keşfetmek ve geliştirmektir. Kanser tedavisinde kullanılan yöntemlerin yüksek maliyeti ve endişe verici yan etkilerinden dolayı son yıllarda doğal ve bitkisel alternatiflere karşı artan bir ilgi vardır. Kanser tedavisinde nanoteknolojiye bağlı olarak kullanılan uygulamalar da çok düşük yan etkiler ve yüksek özgünlükleri ile son yıllarda oldukça yoğun ilgi çekmektedir. Özellikle tıbbi bitkilerden sentezlenerek elde edilen nanopartiküller antimikrobiyal, antioksidan ve antikanser etkileri nedeniyle dikkatleri üzerine toplamaktadır. Bu noktadan hareketle gerçekleştirilen çalışmada, kurkumin ile kaplanmış Ag nanopartiküllerinin (Cur-AgNP) insan meme kanser hücre hattı olan MDA-MB-231 hücreleri üzerindeki antioksidan ve antikanser etkileri araştırılmıştır. MTT testi sonucunda Cur-AgNP bileşiğinin konsantrasyon artışına bağlı olarak hücre canlılığında azalmaya neden olduğu görülmüştür. Bu azalmaların istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gümüş nanopartikülleri, Kurkumin, Meme Kanseri, Sitotoksisite

1. GİRİŞ

Kanser, vücutta bir hücrenin farklılaşarak kontrolsüz bir şekilde çoğalmasıdır. Bu durum kromozomal, genetik ya da epigenetik değişiklikler sonucunda oluşan bir süreçtir. Kanser; hücre bölünmesi, hücre farklılaşması, apoptoz ve DNA tamiri gibi temel hücresel işlevleri de etkileyen bir hastalıktır (Lodish vd., 2000). Kanser ortaya çıkma yaşı,

yayılımı, evresi ve tedavilere verdiği yanıtlara göre çeşitlilik göstermektedir. Bununla birlikte tüm kanser tipleri, moleküler olarak ortak karakteristik özelliklere sahiptir.

Dünya genelinde kanser önemli bir sağlık problemidir. Dünya Sağlık Örgütü'nün alt kuruluşlarından Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı'nın (IARC) bir parçası olan GLOBOCAN, dünya genelinde tüm kanser türleri için istatistiki verileri sağlamaktadır. Bu veriler doğrultusunda 2020 yılında 50,6 milyon kanser vakasının bulunduğu, yeni vaka sayısının (insidans) 19,3 milyon olduğu ve kanser sebebiyle 10 milyon kişinin hayatını kaybettiği bildirilmiştir (GLOBOCAN, 2020). 2040 yılına dek insidans oranının 30,2 milyon olacağı ve bir yılda 16,3 milyon kanser ölümünün gerçekleşeceği tahmin edilmektedir (GLOBOCAN, 2020). Bu verilere bakıldığında kanser türleri içinde en yaygın olanı meme kanseri olup (yeni vakaların %11,7'si), meme kanserini akciğer kanseri (%11,4), kolorektal kanser (%10,0), prostat kanseri (%7,3) ve mide kanseri (%5,6) izlemektedir. Cinsiyete göre bakıldığında ise erkeklerde ilk sırada akciğer kanseri gelmektedir. İnsidans sıralamasında ise akciğer kanserini, prostat kanseri ve kolorektal kanser izlemektedir. Kadınlarda en sık tanı konulan ve kansere bağlı ölümlerin başlıca sebebi meme kanseridir. Kolorektal kanser ve akciğer kanseri ise insidans sıralamasında meme kanserinden sonra gelmektedir (GLOBOCAN, 2020).

Özdoğan (2022) istatistiklerine göre Türkiye nüfusu 2020 yılında 84.339.067 iken, yıllık yeni kanser vaka sayısının 233.834 ve kansere bağlı yaşam kaybı sayısının 126.335 olduğu bildirilmiştir. 2020 yılında ülkemizde akciğer kanseri, meme kanseri, kolorektal (kalın bağırsak) kanser, prostat kanseri ve tiroit kanseri en sık görülen ilk beş kanser türleridir. Yine Özdoğan (2022)'ye göre kadınlarda en çok görülen ilk beş kanser türü meme kanseri, tiroit kanseri, kolorektal kanser, akciğer kanseri ve rahim kanseriyken erkeklerde bu sıralama akciğer kanseri, prostat kanseri, kolorektal kanser, mesane kanseri ve mide kanseri şeklindedir.

Kanser sürecinde, hücrelerin çok hızlı çoğalması ve bu çoğalmaya karşılık hücre kaybının olmaması nedeniyle hücreler birikip tümör adı verilen yapıları oluşturmaktadır. Kanserleşme hem hücrelerdeki genetik mutasyonlardan hem de bağışıklık sisteminin bu hücreleri tanıma ve yok etme noktasındaki yetersizliğinden kaynaklanmaktadır (Yılmaz ve Altunok, 2011). Mutasyona uğramış tek bir hücrenin çoğalmasıyla ortaya çıkan ilk tümör iyi huylu (benign) tümör olarak adlandırılıp bu tümörlerin yayılma yetenekleri bulunmamaktadır. İlerleyen süreçte başka dokulara yayılabilme yeteneği kazanan (metastaz) tümörlere ise kötü huylu (malign) tümör denir (Clark, 1991; Alberts vd., 2002; Yokota ve Kohno, 2004). Tüm malign tümörler kanser olarak nitelendirilir.

Hücrelerde gen hasarlarına sebep olarak kanserleşme sürecine zemin hazırlayan maddelere karsinogen denilmektedir. Kansere sebep olan etmenler fiziksel (UV, güneş ışınları, radyasyon vb.), kimyasal (nitrozaminler, alkol, sigara vb.) ve biyolojik (hormonal bozukluklar, virüsler, genetik yatkınlık, mutasyonlar vb.) olarak sınıflandırılabilirler (Clavel, 2007). HSGM (2017)'ye göre kanser kaynaklı ölümlerin üçte birini tütün kullanımı, aşırı kilo, sebze ve meyve tüketiminin az olması, yetersiz fiziksel aktivite ve

alkol tüketimi olmak üzere beş risk faktörü oluşturmaktadır. Kanserdeki en önemli risk faktörü tütün kullanımı olup kanserden kaynaklanan ölümlerin %22'sini oluşturmaktadır (WHO, 2019).

Kanser tedavisinde tümörün organizmadaki konumuna ve evresine bağlı olarak cerrahi, kemoterapi, radyoterapi, immünoterapi ve gen terapisi gibi birçok yonteme başvurulmaktadır. Tedavide öncelikli amaç, tümör hücrelerinin sağlıklı çevre dokuya minimum derecede hasar vererek öldürülmesidir. Tümörün ilaçla tedavi edilmesi anlamına gelen kemoterapi en sık kullanılan yöntemdir. Bütün bu yöntemlerin tedavi edici yönlerinin yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. Ayrıca bu tedavi yöntemleri için, uzun zaman ve yüksek maliyet gerekmektedir (Cai vd., 2015).

Kanser kişilerde sosyal, ruhsal ve fiziksel sorunlara yol açarken bir yandan da tedavinin pahalılığı sosyoekonomik sorunları ortaya çıkarmaktadır. Bu açıdan bakıldığında kanser bir toplum sorunudur. Kanserle mücadelenin temel önceliği hastalığın tedavi ve önlenmesini büyük ölçüde iyileştirmek için yeni mekanizmalar keşfetmek ve geliştirmektir. Bundan dolayı araştırmalar daha az yan etki riskine sahip doğal ve bitkisel ürünlere çevrilmiştir (Tekin vd., 2012). Yapılan laboratuvar araştırmaları, çeşitli biyoanaliz ve hayvan modellerinde doğal bitkisel ekstre ve bileşiklerin antikanser potansiyele sahip olduğunu göstermiştir (Balachandran ve Govindarajan, 2005; Gullett vd., 2010; Sung vd., 2012; Majdalawieh vd., 2017). 1950'lerden bu yana bitkisel ajanlar kullanılarak yapılan antikanser ilaç araştırmaları sonucunda sitotoksik etki gösteren birçok tür keşfedilmiştir. Kurkumin (Cur), halk arasında “zerdeçal, zerdeçöp, sarı boya veya safran kökü” olarak bilinen Zingiberaceae familyasının önemli üyelerinden çok yıllık, büyük yapraklı ve sarı renkli *Curcuma longa L.*'nin en aktif bileşeni olan bir polifenoldür. Birçok ülkede yaklaşık olarak 6000 yıldır geleneksel tıp alanında kullanılmakta olup gıda sanayinde baharat ve çay olarak ta tüketilmektedir (Ammon ve Wahl, 1991; Erarslan, 2021; Ekici, 2022). Yapılan çalışmalarda *Curcuma longa L.* bitkisinden elde edilen kurkuminin, güçlü antioksidan, antibakteriyel, antikanserojen ve antimitojenik etki göstererek pek çok hastalığın tedavisinde kullanıldığı belirtilmiştir (Sharma, 1976; Toda vd., 1985; Jitoe vd., 1992; Masuda vd., 1992; Jayaprakasha vd., 2006; Kunnammakkara vd., 2007; Sarvalkar vd., 2011). Kurkumin; antikanser aktiviteye sahip olması, molekül ağırlığının düşük olması ve toksisitesinin olmaması sebebiyle potansiyel kemoterapötik ilaçların geliştirilmesinde ideal bir moleküldür.

Kanser tedavisinde nanoteknolojiye bağlı olarak kullanılan uygulamalar çok düşük yan etkiler ve yüksek özgünlükleri ile son yıllarda oldukça yoğun ilgi çekmektedir. Nanopartiküllerin üretiminde şimdiye kadar kullanılan fiziksel ve kimyasal metotlarda istenilen boyutlarda nanoparçacık üretilmemesi, sürecin uzun sürede gerçekleşmesi, partikül kararlılıklarının iyi olmaması ve işlemlerin pahalı olması gibi nedenlerden dolayı daha yeni yöntemlere yönelim olmuştur. Araştırmalar sonucunda çevre dostu, toksik etkisi daha az ve doğadaki canlılar kullanılarak nanopartikül sentezi esasına dayanan “Yeşil Nanoteknoloji” terimi ortaya çıkmıştır. Yeşil nanoteknoloji metodu, insan sağlığına zararlı olmayan, kolay uygulanabilir ve atık ürün problemini azaltan bir

yöntemdir (Duncan, 2011). Metal nanoparçacıklar bu yöntem sayesinde bakteriler, algler ve bitkiler kullanılarak diğer yöntemlere göre daha ucuz ve kolaylıkla üretilebilmektedir. Son yıllarda bitki özütleri kullanılarak yeşil sentez yoluyla elde edilen nanopartiküller, antimikrobiyal, antioksidan, antikanser etkileri nedeniyle dikkat çekmekte ve sağlık alanında kullanılmaktadırlar (Nematollahi, 2015; Nikam vd., 2019; Souza vd., 2019). Gümüş nanopartikülleri, kimyasal kararlılıkları, iyi iletkenlik özellikleri, antibakteriyel, antiviral ve antifungal gibi etkilerinden dolayı nanoteknoloji alanında önemli bir ürün olup çeşitli kanser hücrelerine karşı umut verici antikanser aktiviteler göstermektedir (Klaus-Joerger, 2001).

Kanser tedavisinde daha etkili sonuçlar almak için ya da ilaca karşı direnç geliştirmiş hücrelerde ilaç etkinliğini artırmak amacıyla başka bir ajanla kombine edilerek yapılan çalışmalar oldukça yaygındır. Bu doğrultuda hazırlanan çalışmada, kurkumin kaplı Ag nanopartiküllerinin (Cur-AgNP) MDA-MB-231 insan meme kanser hücre hatları üzerindeki antikanser etkileri araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Hücre Hattı

MDA-MB-231 agresif ve yayılcı üçlü negatif meme kanseri hücre hattıdır. Üçlü negatif meme kanseri, sınırlı tedavi seçeneklerine sahip bir kanser formu olup bu özellik yeni ve etkili ilaçların geliştirilmesi için önem arz etmektedir (Chavez vd., 2010).

2.2. MDA-MB-231 Hücreleri için Besiyeri Hazırlanması

500 mL RPMI 1640 (Roswell Park Memorial Institute Medium) besiyerinin üzerine, %10 oranında steril FBS (fetal bovine serum) den 50 mL eklenmiştir. Kullanım açısından kolaylık sağlamak için besiyeri 50 mL'lik falkonlara paylaştırılıp kullanım esnasında her falkona 500 µL penisilin-streptomisin ve 500 µL L-glutamin eklenmiştir. Besiyerleri +4°C'de muhafaza edilmiştir.

2.3. Cur-AgNP Bileşiğinin Hazırlanması

Kurkumin ile kaplanmış gümüş nanopartiküller (Cur-AgNP) oda sıcaklığında basit bir ultrasonik yöntem ile hazırlanmıştır. Öncelikle 7 mg kurkumin 10 mL santrifüj tüpüne alınıp az miktarda DMSO ile çözünmüştür. Daha sonra 2 mL 20mM'lık sodyum hidroksit çözeltisi eklenip deiyonize su ile 10 mL'ye tamamlanmıştır. Bu çözeltiden 3 mL alınarak 40 mL 0,05 mM'lık gümüş nitrat çözeltisine eklenmiş ve 30 dakika ultrasonik su banyosunda rengi sarımsı yeşile dönene kadar çalkalanmıştır. Daha sonra, elde edilen ürün santrifüj ile toplanmış ve kurutulmuştur. Bu yöntemde organik bir çözücü kullanılmadığı için kurkumin hem indirgeyici rol oynamakta hem de kaplama maddesi olarak kullanılmaktadır. Literatür taraması yapılarak Cur-AgNP bileşiği için 25, 50 ve 100 µg/mL olacak şekilde dozlar belirlenmiştir.

2.4. Cur-AgNP Bileşiğinin Karakterizasyonu

Cur-AgNP bileşiminin fizikokimyasal özellikleri TEM (Transmission Electron Microscope), UV-Vis spektroskopisi, FT-IR (Fourier Transform Infrared) ve XRD (X-ray Diffraction) kullanılarak karakterize edilmiştir.

2.5. MTT Testi

MTT yöntemi, hücrelerdeki mitokondriyel dehidrogenaz enzim aktivitesinin kolorimetrik ölçümüne dayanmaktadır. Yaşayan hücrelerde enzim aktivitesi bulunurken ölü hücrelerde ise bulunmamaktadır. Mitokondriyel dehidrogenaz enziminin varlığı MTT (3-(4,5-dimetiltiyazol -2)-2,5-difenil tetrazolyum bromid) maddesini değişime uğratar. Sarı renkli suda çözünebilir tetrazolium tuzu olan MTT, canlı hücreler tarafından alınarak mitokondriyel süksinat dehidrogenaz enzimleri sayesinde koyu mavi-mor renkli formazan kristallerine dönüştürülür. MTT sonucunda canlı hücreler mavi-mor renkte boyanırken ölü hücreler ise boyanmamaktadır.

MTT testi için, MDA-MB-231 hücreleri sayılarak 96'lık plakalara her bir kuyuya 100 µL besiyeri içerisinde $7,5 \times 10^3$ hücre olacak şekilde ekim yapılmıştır. 24 saat inkübasyon süresi sonunda hücrelere Cur-AgNP (25, 50 ve 100 µg/mL) uygulaması yapılmıştır. Deneylerde negatif kontrol (maksimum canlılık) için ayrılan kuyulara sadece besiyeri ortamına ekilen hücreler kullanılırken kör için ise sadece 200 µL besiyeri eklenmiştir. 24 ve 48 saatlik uygulamalar için hücreler 37°C, %5 CO₂'li ortamda inkübasyona bırakılmıştır. MTT uygulaması MTT Roche deney kit prosedürüne göre gerçekleştirilmiş olup canlılık oranı şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\% \text{Canlılık} = [100 \times (\text{Bileşik ile muamele edilen hücre absorbanansı ortalaması} - \text{kör ortalama}) / (\text{Kontrol hücre absorbanansı ortalaması} - \text{kör ortalama})]$$

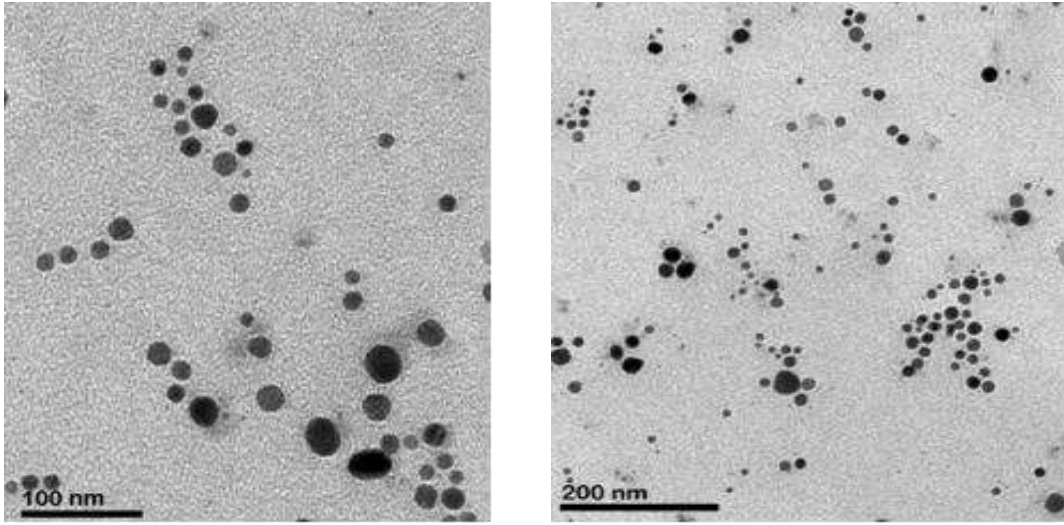
2.6. İstatiksel Analiz

Verilerin istatistiksel analizi IBM SPSS Statistics software (SPSS v22) hazır paket programı kullanılarak yapılmıştır. Cur-AgNP bileşiminin tüm konsantrasyonlarının sitotoksite ve canlı hücre yüzdeleri ortalama±standart hata tablosu ile değerlendirilmiştir. MTT sitotoksite testi değerlerine ait sonuçların istatistiksel analizi normal dağılıma uygunluğuna göre, tek yönlü ANOVA (One-Way ANOVA) kullanılarak yapılmıştır. İstatistiksel değerlendirmeler yapılırken p değeri 0,001 olarak alınmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

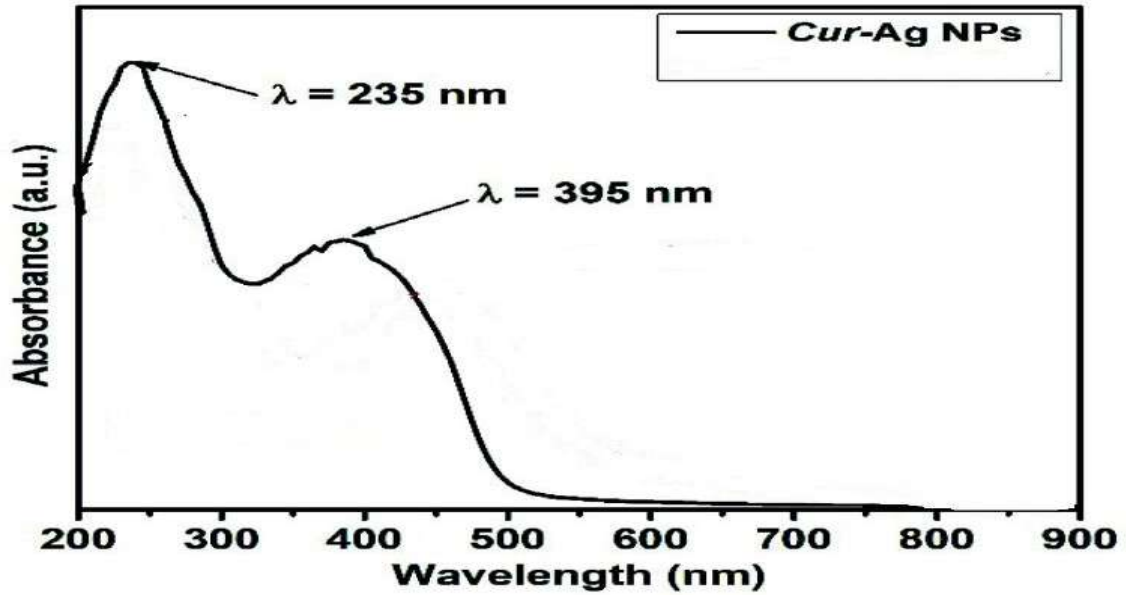
3.1. Karakterizasyon Bulguları

Cur-AgNP'ler için boyut ve şekil gibi morfolojik özelliklere ait TEM görüntüleri küresel şeklin baskın olduğunu göstermektedir (Bkz. Görsel 1). TEM görüntülerinden elde edilen ortalama parçacık boyutu ise 15 ± 5 nm civarındadır.



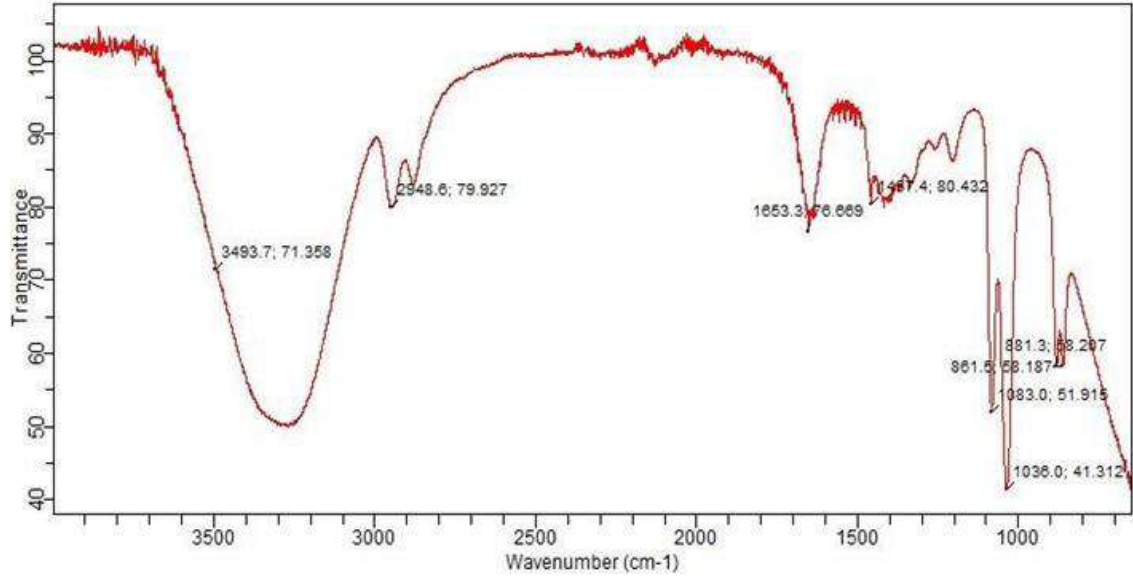
Görsel 1. Cur-Ag nanopartiküllerinin farklı büyütme oranlarında (100 ve 200 nm) TEM görüntüleri

Cur- Ag nanopartiküllerinin optik özellikleri UV-Vis absorpsiyon spektrumu ile gözlemlenmiştir. Buna göre Cur-Ag NP'ler 395 nm'de tek bir geniş yüzey plazmon bandı sergilemiştir (Bkz. Görsel 2).



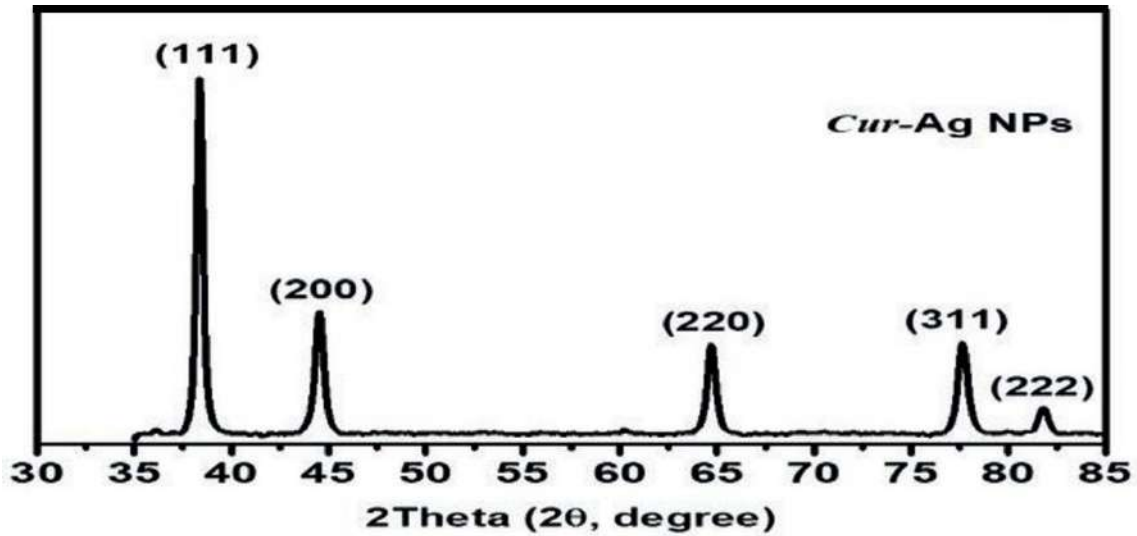
Görsel 2. Cur- AgNP için Uv-Vis Absorpsiyon Spektrumu

Cur-Ag NP'lerin yüzey özellikleri ise FT-IR analizleri ile belirlenmiştir. Cur-AgNP'lerin FT-IR analizinde 3493, 2948, 1653, 1451, 1083 ve 1036 cm^{-1} 'de karakteristik pikler gözlemlenmiştir (Bkz. Görsel 3).



Görsel 3. Cur- AgNP için FT-IR Spektrumu

Cur-AgNP'lerin kristalografik yapısı ise Görsel 4'de gösterildiği gibi XRD ölçüleriyle incelenmiştir. Cur-AgNP'ler sırasıyla $2\theta = 38.27, 44.47, 64.71, 77.73$ ve 81.9 değerlerinde beş belirgin özellik sergilemektedir (Bkz. Görsel 4).



Şekil 4. Cur- AgNP için XRD Deseni

3.2. MTT Testi Bulguları

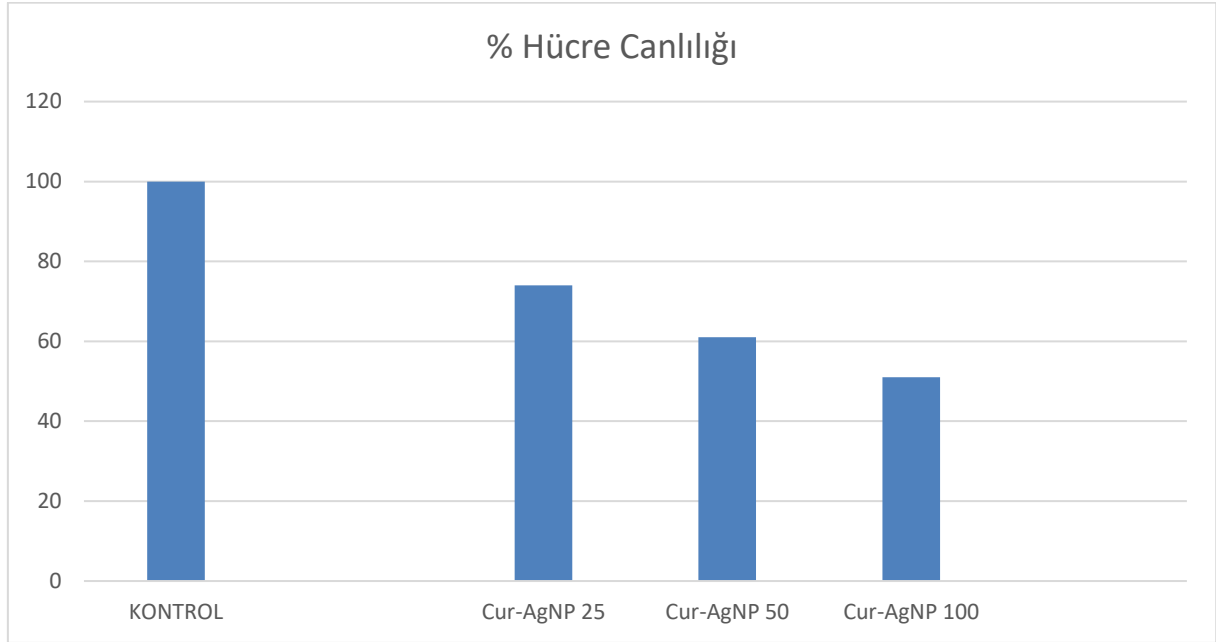
MDA-MB 231 hücre hattı için Cur-AgNP uygulaması sonucu elde edilen veriler CompuSyn programı ile analiz edilerek IC_{50} değerleri hesaplanmıştır (Bkz.Çizelge 1).

Çizelge 1. MDA-MB 231 hücre hattı için Cur-AgNP uygulaması sonucu elde edilen IC_{50} değerleri

Süre (saat)	Hücre	Cur-AgNP ($\mu\text{g/mL}$)
-------------	-------	-------------------------------

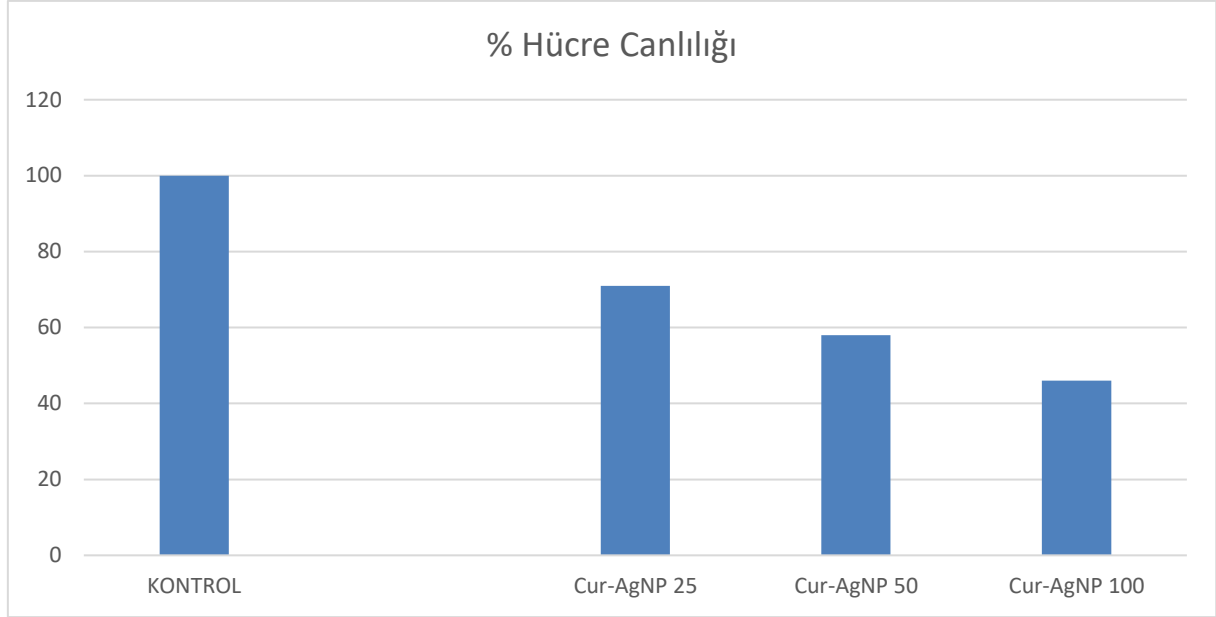
24	MDA-MB-231	>100
48	MDA-MB-231	84,25±0,47

MDA-MB-231 hücre hattında Cur-AgNP bileşiğinin 24 saat boyunca 25, 50 ve 100 µg/mL dozlarda uygulanması sonucunda ortaya çıkan canlılık oranları sırasıyla %74,32±0,02, %61,57±0,98 ve %51,25±0,16 çıkmıştır. Bu sonuçlar kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0,001) (Bkz. Görsel 5).



Görsel 5. MDA-MB-231 hücrelerine Cur-AgNP uygulaması sonucunda hücre canlılığının 24 saat sürede doza bağlı değişimi

MDA-MB-231 hücre hattında Cur-AgNP bileşiğinin 48 saat boyunca 25, 50 ve 100 µg/mL dozlarda uygulanması sonucunda ortaya çıkan canlılık oranları sırasıyla %71,12±0,25, %58,49±0,52 ve %46,13±0,74 çıkmıştır. Bu sonuçlar kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0,001) (Bkz. Görsel 6).



Görsel 6. MDA-MB-231 hücrelerine Cur-AgNP uygulaması sonucunda hücre canlılığının 48 saat sürede doza bağı değişimi

4. GENEL DEğERLENDİRME VE SONUÇLAR

Özellikle gelişmiş ülkeler olmak üzere dünyada yaşanan tüm ölümler içerisinde kanserin payı oldukça büyüktür ve bu pay giderek artmaktadır. Kanser vakalarının sayısı arttıkça yeni teşhis ve tedavi yöntemlerine duyulan ihtiyaç başta bitkisel tıp, akupunktur gibi alternatif tedavi yöntemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Geliştirilen yeni tedavilerin klasik tedaviler ile uyumlarının test edilmesi, yan etkilerinin belirlenmesi ve oluşturabilecekleri istenmeyen etkilerden kaçınılması son derece önemlidir. Son yıllarda bu konulara yönelik yoğun çalışmalar ile bitkisel tedavi yöntemleri araştırılmakta ve tedaviye faydalı olabilecek etkin madde içerikleri değerlendirilmektedir (Pecere vd., 2000; Kuo vd., 2002; Pecere vd., 2003).

Birçok bitkisel üründe olduğu gibi kurkuminin de geniş biyolojik spektruma sahip ve toksik olmayan güçlü bir antioksidan olduğu bilinmektedir (Topal ve Uğur, 2021). Kurkuminin antienflamatuvar, antimikrobiyal, antidiyabetik, antibakteriyal ve antioksidan özelliklerinden dolayı tedavi edici ve sitotoksik etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır (Ekici, 2022). Fare ve ratlar üzerinde yapılan çalışmalarda kurkuminin antioksidan özelliğinden dolayı koruyucu etki göstererek beyin, mide ve karaciğer dokularında lipid peroksidasyonunu ve protein oksidasyonunu engellediği tespit edilmiştir (Manikahdah vd., 2004; Siddiqui vd., 2006). Başka bir çalışmada, kurkuminin antioksidan özellikleri sayesinde insan embriyonik böbrek hücrelerinde (HEK293) proliferasyonu artırmak suretiyle toksisiteyi azalttığı ifade edilmiştir (Kurt vd., 2020). Fenolik bir bileşik olan kurkuminin Covid-19 proteazına karşı güçlü bir inhibitör aktiviteye sahip olduğu ve bununla birlikte Covid-19 antiproteaz ilacı olarak kabul edilebileceği de belirtilmiştir (Mohammadi ve Shaghghi, 2020). Beyin ve meme gibi kanserli hücre hatlarında farklı dozlarda uygulanan kurkuminin hücre

proliferasyonunu azaltarak apoptozu indüklediği gösterilmiştir (Bektur Aykanat ve Kaçar, 2021; Kar ve Hacıoğlu, 2021). Gianfredi vd., (2017) MDA-MB-231 hücre hattında yaptıkları araştırmalarda kurkuminin hücre döngüsünün durmasını kolaylaştırdığını ve apoptozu indükleyerek antikanser etkiler gösterdiğini bildirmişlerdir. Yang vd., (2007) kurkuminin oral biyoyararlanımının %1 civarında olduğunu göstermişler, bu nedenle de herhangi bir yararlı sonuç elde etmek için çok yüksek dozlarda kurkumin (3600 ila 12.000 miligram) gerektiğini bildirmişlerdir. He vd., (2015) kurkuminin kan dolaşımına zayıf bir şekilde emildiğini ve kurkuminin tüm etkilerinden faydalanabilmek için biyoyararlanımının iyileştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Kemoterapi tedavisi alan meme kanserli kişilere tedaviye yardımcı ve kemoterapinin yan etkilerini azaltıcı olarak kurkumin takviyesi verilmesinin sağlıklı hücrelere herhangi bir toksik etkisinin olmadığı, sadece kanser hücrelerini hedeflediği yapılan deneylerle gösterilmiştir (Ayati vd., 2019).

Munusamy vd., (2015) yaptıkları çalışmada, *Solanum trilobatum* bitkisinin olgunlaşmamış meyvelerini kullanarak sentezledikleri AgNP'lerin antikanser aktivitelerini belirlemek için MCF-7 hücre hattı ile MTT yöntemini kullanmışlardır. Sonuç olarak, sentezlenmiş AgNP'lerin antikanser özelliği olduğunu göstermişlerdir. Kumar vd., (2018) yaptıkları çalışmada, *Hydnocarpus pentandra* yaprak ekstraktı kullanarak yeşil sentez yöntemiyle AgNP sentezlemişlerdir. AgNP'lerin antioksidan aktivitesini DPPH yöntemi ile test edip doza bağlı olarak antioksidan aktivite gösterdiklerini belirtmişlerdir. Bitkiler aracılığı ile üretilen AgNP'ler kan dolaşımındaki hücre döngüsünü ve enzimleri düzenler (Alt vd., 2004). Suman vd., (2013) yaptıkları çalışma da AgNP'lerin yeşil sentezinin HeLa hücre hattında diğer kimyasal bazlı sentetik ilaçlara kıyasla önemli bir sitotoksik etki sergilediğini bildirmişlerdir. Franco molina vd., (2010) ise çalışmalarında koloidal gümüşün MCF-7 meme kanseri hücre hattında apoptozun indüklenmesi yoluyla antitümör aktivitesine sahip olduğunu göstermiş ve koloidal gümüşün insan meme kanseri tedavisi için potansiyel bir alternatif ajan olabileceğini belirtmiştir.

Çalışmamızda elde ettiğimiz bulgular literatürle örtüşmektedir. Cur-AgNP bileşiğinin MDA-MB-231 meme kanseri hücre hatlarında tüm dozlarda (25, 50 ve 100 µg/mL) sitotoksik etki gösterdiği MTT yöntemiyle saptanmıştır. Bulgularımızda elde edilen önemli verilerden biri de Ag nanopartiküllerinin kurkumin ile kaplanması kurkuminin sitotoksik aktivitesini artırması olmuştur. Daha önce Aykaç (2021) tarafından yapılan bir çalışmada kurkuminin MDA-MB-231 hücre hattı üzerindeki sitotoksik etkisi incelenmiş olup 24 saatlik 100µM kurkumin uygulamasının proliferasyonu yaklaşık %35 oranında azalttığı saptanmıştır. Bizim elde ettiğimiz verilere göre ise 24 saatlik 100 µg/mL Cur-AgNP uygulaması sonucunda MDA-MB-231 hücre hatlarında %50'ye yakın hücre ölümü saptanmıştır.

Cur-AgNP bileşiğinin MDA-MB-231 meme kanseri hücre hattında antikanser aktivitesine ilişkin literatür bilgisi bulunmamaktadır. Bu açıdan çalışmamız çözümü bulunmaya çalışılan kanser hastalığı için bitkisel alternatif imkânı sağlamak adına yapılan literatür araştırmalarına destek olmaktadır. Yapılan çalışma AgNP'lerin kanser tedavisi

için alternatif tıp olarak kabul edilebileceğini göstermiştir. Bunun yanı sıra daha fazla bitki ile AgNP komplekslerinin incelenmesi potansiyel bir antioksidan ve sitotoksik aktivite araştırmaları için önemlidir. Sonuç olarak, Cur-Ag nanopartikülleri antimikrobiyal, anti-biyofilm, antioksidan ve antikanser uygulamalarında önemli potansiyele sahip çok yönlü bir platform sunmaktadır. Bununla birlikte, sentezlerini optimize etmek, etki mekanizmalarını anlamak ve klinik kullanım için güvenliklerini sağlamak için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, “Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından desteklenen FBA-2024-947 nolu projenin bir bölümüdür.

KAYNAKÇA

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. & Walter, P., *Molecular Biology of The Cell*, 4th ed., New York, 1314, 2002.
- Alt, V., Bechert, T., Steinrücke, P., Wagener, M., Seidel, P., Dingeldein, E., Domann, E. ve Schnettler, R. An *in vitro* Assessment of The Antibacterial Properties And Cytotoxicity of Nanoparticulate Silver Bone Cement, *Biomaterials*, 25(18), 4383-4391, 2004.
- Ammon, H.P., Wahl, M.A. Pharmacology of *Curcuma longa*, *Planta Medica*, 57(1), 1-7, 1991.
- Ayati, Z., Ramezani, M., Amiri, M. S., Moghadam, A. T., Rahimi, H., Abdollahzade, A., Emami, S. A. Ethnobotany, Phytochemistry and Traditional Uses of *Curcuma Spp.* And Pharmacological Profile Of Two Important Species (*C. longa* and *C. zedoaria*): A Review, *Current Pharmaceutical Design*, 25(8), 871-935, 2019.
- Aykaç, A., *Meme Kanseri Hücre Dizisi Üzerinde (MDA-MB-231) Kurkumin ve Metotreksatin Antiproliferatif ve Apoptotik Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Aydın, 2021.
- Balachandran, P., Govindarajan, R. Cancer: An Ayurvedic Perspective, *Pharmacology Research*, 51, 19- 30, 2005.
- Bektur Aykanat, N.E., Kaçar, S. T-47D Meme Kanseri Hücreleri Üzerinde Kurkuminin Doza Bağımlı Etkisinin İncelenmesi, *Journal of Uludağ University Medical Faculty*, 47(2), 241-245, 2021.
- Cai, Y., Ma, W., Huang, X., Cao, L., Li, H., Jiang, Y., Lu, N., Yin, Y. Effect Of Survivin On Tumor Growth Of Colorectal Cancer *in vivo*, *International Journal of Clinica and Experimental Pathology*, 8 (10), 13267-13272, 2015.
- Chavez, K. J., Garimella, S. V., Lipkowitz, S. Triple Negative Breast Cancer Cell Lines: One Tool in The Search For Better Treatment of Triple Negative Breast Cancer, *Breast Disease*, 32 (1- 2), 35, 2010.

- Clark, W. H. Tumour Progression and The Nature of Cancer, British Journal of Cancer, 64 (4), 631- 644, 1991.
- Clavel, J. Progress in The Epidemiological Understanding of Gene-Environment Interactions In Major Diseases: Cancer, Comptes Rendus Biologies, 330 (4), 306-317, 2007.
- Duncan, T.V. Applications of Nanotechnology in Food Packaging and Food Safety: Barrier Materials, Antimicrobials and Sensors, Journal of Colloid and Interface Science, 363(1), 1-24, 2011.
- Ekici, S., *Yüksek Glukoz Konsantrasyonuna Maruz Bırakılmış Ligamentum Periodontale Hücre Hattı Üzerine Curcumin'in Koruyucu Etkisi*, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2022.
- Erarslan, A. S., *Asetik Asitle Oluşturulmuş Deneysel Ülseratif Kolit Modelinde Curcumin ve Vitamin D'nin Ayır Ayır Bağırsak Geçirgenliğinde Olası Koruyucu ve Tedavi Edici Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Aydın, 2021.
- Franco-Molina, M. A., Mendoza-Gamboa, E., Sierra-Rivera, C. A., Gómez-Flores, R. A., Zapata-Benavides, P., Castillo-Tello, P., Alcocer-González, J. M., Miranda-Hernández, D.F., Tamez-Guerra, R.S. & Rodríguez-Padilla, C. Antitumor Activity of Colloidal Silver on MCF-7 Human Breast Cancer Cells, Journal of Experimental and Clinical Cancer Research, 29(1), 148, 2010.
- Gianfredi, V., Vannini, S., Moretti, M., Villarini, M., Bragazzi, N. L., Izzotti, A., Nucci, D. Sulforaphane and Epigallocatechin Gallate Restore Estrogen Receptor Expression By Modulating Epigenetic Events in The Breast Cancer Cell Line MDA-MB-231: A Systematic Review and Meta-Analysis, Journal Of Nutrigenetics and Nutrigenomics, 10(3-4), 126–135, 2017.
- Gullett, N. P., Ruhul Amin, A. R., Bayraktar, S., Pezzuto, J. M., Shin, D. M., Khuri, F. R., Aggarwal, B. B., Surh, Y. J., Kucuk, O. Cancer Prevention With Natural Compounds, Seminars Oncology, 37, 258- 281, 2010.
- He, Y., Yue, Y., Zheng, X., Zhang, K., Chen, S., Du, Z. Curcumin, Inflammation and Chronic Diseases: How Are They Linked?, Molecules (Basel, Switzerland), 20(5), 9183–9213, 2015.
- <https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-multi-bars>. Son erişim tarihi: 19.11.2022.
- https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/birimler/kanserdb/istatistik/Turkiye_Kanser_Istatistikleri_2017.pdf Son erişim tarihi: 15.11.2022.
- <https://www.drozdogan.com/turkiye-kanser-istatistikleri-2020/> Son erişim tarihi: 22.11.2022.
- <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer> Son erişim tarihi: 15.11.2022.
- Jayaprakasha, G.K., Rao, L.J., Sakariah, K.K. Antioxidant Activities of Curcumin, Demethoxycurcumin and Bisdemethoxycurcumin, Food Chemistry, 98(4), 720-724, 2006.

- Jitoe, A., Masuda, T., Tengah, I.G.P., Suprpta, D.N., Gara, I.W., Nakatani, N. Antioxidant Activity of Tropical Ginger Extracts and Analysis of The Contained Curcuminoids, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 1337-1340, 1992.
- Kar, F., Hacıoğlu, C. Kurkumin'in U251 Hücrelerinde Antineoplastik Potansiyellerinin Mekanizması Olarak Antioksidatif ve Apoptotik Özellikleri, *Biological Diversity and Conservation*, 14(2), 258-268, 2021.
- Klaus-Joerger, T., Joerger, R., Olsson, E., Granqvist, C. Bacteria As Workers in the Living Factory: Metal Accumulating Bacteria and Their Potential For Materials Science, *Trends Biotechnology*, 19 (1), 15–20, 2001.
- Kumar, A., Rana, A., Sharma, G., Naushad, M., Al-Muhtaseb, A. A. H., Guo, C., Stadler, F. J. High-Performance Photocatalytic Hydrogen Production And Degradation of Levofloxacin By Wide Spectrum-Responsive Ag/Fe₃O₄ Bridged SrTiO₃/G-C₃N₄ Plasmonic Nanojunctions: Joint Effect of Ag and Fe₃O₄, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 10(47), 40474-40490, 2018.
- Kunnumakkara, A.B., Guha, S., Krishnan, S., Diagaradjane, P., Gelovani, J., Aggarwal, B.B. Curcumin Potentiates Antitumor Activity of Gemcitabine in an Orthotopic Model of Pancreatic Cancer Through Suppression of Proliferation, Angiogenesis, and Inhibition of Nuclear Factor-KappaB-Regulated Gene Products, *Cancer Research*, 67(8), 3853-3861, 2007.
- Kuo, P. L., Lin, T. C., Lin, C. C. The Antiproliferative Activity of Aloe-Emodin is Through P53-Dependent And P21-Dependent Apoptotic Pathway in Human Hepatoma Cell Lines, *Life Science*, 71(16), 1879-92, 2002.
- Kurt, B.Ö., Taşpınar, E., Şener, L.T., Özdemir, S, *The Possible Toxic Effect of Chlorpyrifos On Cell Viability in Hek293 Cell Line and Antioxidant Efficacy of Selenium and Curcumin*, 22nd International Conference on Antioxidants, Paris-Fransa, ss.12, 2020.
- Lodish, H., Berk, A., Zipursky, S. I., Matsudaira, P., Baltimore, D., Darnell, J. *Molecular Cell Biology* 4th ed., Whfreemanandco, Newyork, 2000.
- Majdalawieh, A. F., Fayyad, M. W., Nasrallah, G. K. Anticancer Properties and Mechanisms of Action of Thymoquinone, The Major Active Ingredient of *Nigella sativa*, *Critical Review Food Science Nutrition*, 57 (18), 3911- 3928, 2017.
- Manikahdah, P., Sumitra, M., Aishwarya, S., Manohar, B.M., Lokanadam, B., Puvanakrishnan, R. Curcumin Modulates Free Radical Quenching in Myocardial İschaemia in Rats, *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 36(10), 1967-1980, 2004.
- Masuda, T., Isobe, J., Jitoe, A., Nakatani, N. Antioxidative Curcuminoids From Rhyzomes of *Curcuma Cantorrhiza*, *Phytochemistry*, 31, 3645-3647, 1992.
- Mohammadi, N., Shaghghi, N. Inhibitory Effect of Eight Secondary Metabolites From Conventional Medicinal Plants on COVID-19 virus Protease By Molecular Docking Analysis, Cell and Molecular Biology Department, Faculty Of Basic Science, University of Maragheh, 2020.
- Munusamy, P., Wang, C., Engelhard, M. H., Baer, D. R., Smith, J. N., Liu, C., Ryan, M. P. Comparison of 20 nm Silver Nanoparticles Synthesized With And Without A

- Gold Core: Structure, Dissolution in Cell Culture Media, and Biological Impact on Macrophages, *Biointerphases*, 10(3), 031003, 2015.
- Nematollahi, F. Silver Nanoparticles Green Synthesis Using Aqueous Extract of *Salvia Limbata* CA Mey, *International Journal of Biosciences*, 6(2), 30-35, 2015.
- Nikam, A., Pagar, T., Ghotekar, S., K Paga, K. A Review on Plant Extract Mediated Green Synthesis of Zirconia Nanoparticles and Their Miscellaneous Applications, *Journal of Chemical Reviews*, 1- 3, 154-163, 2019.
- Pecere, T., Gazzola, M.V., Mucignat, C., Parolin, C., Vecchia, F. D., Cavaggioni, A., Basso, G., Diaspro, A., Salvato, B., Carli, M., Palu, G. Aloe-Emodin is a New Type Of Anticancer Agent With Selective Activity Against Neuroectodermal Tumors, *Cancer Research*, 60(11), 2800- 2804, 2000.
- Pecere, T., Sarinella, F., Salata, C., Gatto, B., Bet, A., Dalla Vecchia, F., Diaspro, A., Carli, M., Palumbo, M., Palu, G. Involvement of P53 in Specific Antineuroectodermal Tumor Activity of Aloe-Emodin, *International Journal of Cancer*, 106(6), 836- 847, 2003.
- Sarvankar, P.P., Walvekar, M.V., Bhopale, L.P. Antioxidative Effect of Curcumin (*Curcuma longa*) on Lipid Peroxidation and Lipofuscinogenesis in Submandibular Gland of D-Galactose- Induced Aging Male Mice, *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(20), 5191-5193, 2011.
- Sharma, O.P. Antioxidant Activity of Curcumin and Related Compounds, *Biochemical Pharmacology*, 25(15), 1811-1812, 1976.
- Siddiqui, A.M., Cui, X., Wu, R., Dong, W., Zhou, M., Hu, M. The Antiinflammatory Effect of Curcumin in An Experimental Model of Sepsis is Mediated By Up-Regulation Of Peroxisome Proliferator-Activated Receptor- γ , *Critical Care Medicine*, 34(7), 1874-1882, 2006.
- Souza, de T.A.J., Souza, L.R.R., Franchi, L.P. Silver Nanoparticles: An Integrated View of Green Synthesis Methods, Transformation In The Environment, and Toxicity, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 30, 691-700, 2019.
- Suman, T.Y., Rajasree, S.R., Kanchana, A., Elizabeth, S.B. Biosynthesis, Characterization and Cytotoxic Effect of Plant Mediated Silver Nanoparticles Using *Morinda Citrifolia* Root Extract, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 106, 74-78, 2013.
- Sung, B., Prasad, S., Yadv, V. R. & Aggarwal, B. B. Cancer Cell Signaling Pathways Targeted By Spice-Derived Nutraceuticals, *Nutrition and Cancer*, 64,173- 197, 2012.
- Tekin, A., Kaya, E., Yazıcı, S. *Kanserle İlgili Alternatif Tıp İçerikli Web Sitelerinin İçerik Analizi*, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 4(6), 14-34, 2012.
- Toda, S., Miyase, T., Arichi, H., Tanizawa, H., Takino, Y. Natural Antioxidants Antioxidative Components Isolated From Rhizome Of *Curcuma longa* L, *Chemical Pharm Bull (Tokyo)*, 33(4), 1725-1728, 1985.
- Topal, B.G., Uğur, S.G. Diş Hekimliğinde Kurkumin Kullanımı, *Diş ve Tıp Dergisi*, 3(3), 15-24, 2021.

- Yang, K. Y., Lin, L. C., Tseng, T. Y., Wang, S. C., Tsai, T. H. Oral Bioavailability of Curcumin in Rat and The Herbal Analysis From *Curcuma longa* By LC-MS/MS, Journal of Chromatography B, Analytical Technologies in The Biomedical and Life Sciences, 853(1-2), 183-189, 2007.
- Yılmaz, E., Altunok, V. Kanser ve P53 Geni, Adana Veteriner Kontrol ve Araştırma Enstitüsü Dergisi, 1, 19- 23, 2011.
- Yokota, J., Kohno, T. Molecular Footprints of Human Lung Cancer Progression, Cancer Science, 95(3), 197- 204, 2004.

SEKONDER METABOLİTLERİN ÜRETİMİNDE BİTKİ DOKU KÜLTÜRÜ YÖNTEMLERİ

Arş. Gör. Dr. Ayhan YILMAZ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi,
ayhan.yilmaz@dpu.edu.tr-0000-0003-0410-8687

Doç. Dr. Burcu ÇETİN

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi,
burcu.cetin@dpu.edu.tr-0000-0003-1465-1464

ÖZET

Bitki doku kültürü, bitkilerin hücre, doku veya organlarının steril ve kontrollü koşullarda kültürle alınarak bitki ya da bitkisel metabolitlerin üretimini sağlayan tekniklerdir. Bu teknikler, bitkisel biyoteknolojinin temel taşlarından biri olarak kabul edilmektedir ve özellikle sekonder metabolitlerin üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Sekonder metabolitler, bitkilerin çevresel streslere karşı savunma mekanizmaları olarak işlev gören ve tıbbi, gıda ve kozmetik endüstrilerinde değerli bileşikler olarak kullanılan kimyasallardır. Artan nüfus ile beraber her geçen gün bu metabolitlere olan ihtiyaç artmaktadır.

Bitki doku kültürü, sekonder metabolit üretiminde, geleneksel tarım yöntemlerine göre birçok avantaj sunar ve özellikle doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı açısından da büyük önem taşımaktadır. Bu yöntemler ile çevresel koşullardan bağımsız olarak öngörülebilir zaman, kalite ve miktarda metabolit üretimi sağlandığı vurgulanmaktadır. Ayrıca, doku kültürü ile elde edilen metabolitlerin, doğal bitkilerin toplanmasına olan bağımlılığı azaltarak, doğal bitkilerden elde edilenlerden daha yüksek saflıkta ve daha düşük maliyetle üretilebileceği belirtilmektedir.

Doku kültürü yöntemleri, sekonder metabolitlerin üretiminde çeşitli stratejilerle birleştirilerek kullanılmaktadır. Örneğin, besin ortamına çeşitli öncül ve elisitörlerin ilavesi, biyotik ve abiyotik stres uygulamaları sekonder metabolit üretimi artırır. Bunun yanı sıra, metabolitlerin biyosentetik yolları hakkında yeterli bilgi olmadığı durumlarda genomik ve metabolik çalışmaları bu zorlukların üstesinden gelmek için önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak, bitki doku kültürü yöntemleri, sekonder metabolitlerin üretiminde önemli bir alternatif sunmaktadır. Bu yöntemler, hem çevresel sürdürülebilirliği artırmakta hem de tıbbi ve endüstriyel uygulamalar için yüksek değerli bileşiklerin

üretimini mümkün kılmaktadır. Ancak, bu alandaki araştırmaların devam etmesi ve yeni tekniklerin geliştirilmesi, bitki doku kùltürü ile sekonder metabolit üretimini daha da verimli hale gelmesine katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Abiyotik, biyotik, elisitör, bitki doku kùltürü, sekonder metabolit.

PLANT TISSUE CULTURE METHODS IN THE PRODUCTION OF SECONDARY METABOLITES

Res. Asst. Dr. Ayhan YILMAZ

Kütahya Dumlupınar University,
ayhan.yilmaz@dpu.edu.tr-0000-0003-0410-8687

Assoc. Prof. Dr. Burcu ÇETİN

Kütahya Dumlupınar University,
burcu.cetin@dpu.edu.tr-0000-0003-1465-1464

ABSTRACT

Plant tissue culture is a technique that enables the production of plants or plant metabolites by culturing plant cells, tissues or organs under sterile and controlled conditions. These techniques play an important role in the production of secondary metabolites. Secondary metabolites play a role in the defense of plants against environmental stresses and are chemicals used as valuable compounds in the pharmaceutical, food and cosmetic industries. The need for these metabolites is increasing day by day due to the increasing population.

Plant tissue culture offers many advantages over traditional agricultural methods in the production of secondary metabolites and is of great importance, especially in terms of sustainable use of natural resources. It is emphasized that these methods provide metabolite production in a predictable period, quality and quantity, regardless of environmental conditions. It is also stated that metabolites obtained by tissue culture can be produced with higher purity and at lower cost than those obtained from natural plants and reduce dependency on the collection of natural plants.

Tissue culture methods are used with various strategies in the production of secondary metabolites. For example, the addition of various precursors and stimulants to the nutrient medium and biotic and abiotic stress applications cause an increase in secondary metabolite production. In addition, in cases where there is insufficient information about the biosynthetic pathways of metabolites, genomic and metabolic studies stand out as an important strategy to overcome these difficulties.

As a result, plant tissue culture methods offer an important alternative in the production of secondary metabolites. These methods both increase environmental sustainability and enable the production of high-value compounds for medical and industrial applications. However, continuing research in this field and developing new techniques will contribute to making secondary metabolite production with plant tissue culture even more efficient.

Key Words: Abiotic, biotic, elicitor, plant tissue culture, secondary metabolite.

1. Bitki Doku Kültürü

Sekonder metabolitler, bitkiler, mantarlar ve mikroorganizmalar gibi çeşitli organizmalar tarafından üretilen düşük moleküler ağırlıklı doğal ürünlerdir. Bu metabolitler organizmaların ekosistem içindeki rollerini belirler; örneğin kuraklık, tuzluluk gibi çevresel etkenlerin oluşturduğu stres ortamına dayanmalarını, herbivorlar ve mikroorganizmalara karşı savunmalarını, polinasyon ve tohum dağılımı için hayvanları cezbederek yaşamlarını devam ettirmelerini sağlarlar (Miladinova vd., 2022).

Sekonder metabolitlerin sayısı ve çeşitliliği, bu bileşiklerin biyolojik aktiviteleri ve potansiyel uygulamaları açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu kimyasallar arasında alkaloidler, terpenoidler ve fenolik bileşikler gibi birçok farklı grup bulunmaktadır. Biyolojik aktiviteleri nedeni ile ilaç, kozmetik ve gıda endüstrisinde kullanılan birçok sekonder metabolit sentetik kimyadaki ilerlemelere rağmen hala sentezlenememektedir (Mohaddab vd., 2022).

Doğal koşullarda bitkilerden sekonder metabolitlerin elde edilmesi sırasında çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorluklar arasında, bitkilerin doğal ortamdan toplanmasının zor ve pahalı olması, bitki nesillerinin tehlike altına girmesi, iklim koşullarının metabolit miktarını etkilemesi ve etkili maddelerin bitkilerde düşük miktarlarda sentezlenmesi yer almaktadır.

Bitki doku kültürü, özellikle sekonder metabolitlerin üretiminde büyük bir potansiyele sahiptir. Bitki doku kültürü tekniklerinin avantajları arasında, doğal bitki kaynaklarına olan bağımlılığı azaltma ve coğrafi koşullardan bağımsız bir üretim sağlama yeteneği bulunmaktadır¹³. Bu durum, özellikle tıbbi bitkilerin sürekli ve güvenilir bir şekilde temin edilmesi açısından önemlidir (Babich vd., 2020).

Bitki doku ve hücre kültürü, aseptik koşullar altında ve uygun besi yerlerinde bitki hücre, doku veya organlarının istenilen amaca uygun olarak kültüre alınması işlemleridir. Sekonder metabolit üretiminde elde edilmek istenen metabolitin, bitki tarafından üretildiği sentez yerinin dikkate alınarak uygulanacak kültür tipinin seçilmesi gerekir. Buna göre farklılaşmış kök, sürgün veya embriyo kültürleri ya da farklılaşmamış hücre ve kallus kültürleri metabolit üretimi için uygulanabilir.

Mevcut literatüre göre, metabolitlerin sentezi çoğunlukla farklılaşmış bitki dokularında daha yüksektir ve bu nedenle farmasötik açıdan önemli bileşikler elde etmek amacıyla in vitro koşullar altında tüm bitki organlarını, yani sürgünleri veya kökleri yetiştirmek için çeşitli protokoller geliştirilmiştir (Khanam vd., 2022).

1.2.Kök kültürleri

Bitkilerin köklerinde sentezlenen metabolitlerin üretiminde kök kültürleri kullanılır. Bitkinin kök organından alınan “eksplant” olarak adlandırılan kök doku parçasının yüksek oksin içeren besin ortamında kültüre alınması işlemlerdir. Üretilen köklerdeki metabolitin, klasik kültür yöntemleri ile üretilen bitkideki miktara yakın veya daha fazla olması istenir (Hussain vd., 2022).

Primula veris subsp. *veris* L., kökleri ve çiçekleri değerli farmasötik hammaddelerin kaynağı olan çok yıllık otsu ve tıbbi bitki türüdür. Bitki dokuları, yüksek triterpen saponinler ve fenolik glikozitler içeriği nedeniyle balgam söktürücü ve idrar söktürücü ilaçlar üretmek için kullanılır. *P. veris*'in yeraltı kökleri yalnızca bitkinin hasadı sırasında yıkıcı bir işlemle elde edilebilir. Bu nedenle alternatif bir üretim yolu olarak in vitro tesadüfi kök üretim protokolü geliştirilmiştir. Sonuç olarak bitkinin doku kültürü sadece çoğaltma için değil aynı zamanda tesadüfi kök kültürleri yoluyla primulik asit II gibi türlere özgü ikincil metabolitlerin üretimi için de kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Bu yöntem sayesinde, bitkinin doğal ortamından kontrolsüzce toplanmasının önüne geçilmiş ve sürdürülebilir bir şekilde pestisitlerden arındırılmış doğal ürünlerin üretimi sağlanmıştır (Sarropoulou vd. 2023).

Son yıllarda, bir bitki patojeni olan *Agrobacterium rhizogenes* ile yapılan çalışmalar kök kültürlerinde değişiklik sağlamıştır. Toprak grubu bakterisi olan *A. rhizogenes* patojeni Rİ-DNA adı verilen küçük DNA parçasını bitki genomuna aktararak "tüylü" kök fenotipinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak bitki genomuna yerleşen oksin genleri tüylü kök oluşumu uyarmakta ve kültür ortamına sürekli hormon ilavesi yapılmasına gerek kalmamaktadır. Saçaklı kök kültürü olarak adlandırılan bu yöntem ile antimikrobiyal, anti kanser ve antifungal özelliklere sahip birçok bileşik üretilmektedir (Gantait ve Mukherjee, 2022; Roy, 2021; Biswas vd., 2023; Malarz vd., 2023).

Salvia bulleyana Diels'in *Agrobacterium rhizogenes* A4 klonunun yaprak eksplantlarına inokulasyonu sonucu elde edilen saçaklı köklerdeki 10 polifenol bileşiğin miktarına tarla koşullarında yetişenler ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, tarla koşullarında birkaç yılda yetiştirilen bitkilerin köklerinden önemli ölçüde daha yüksek oranda metabolit üretimi olduğu belirlenmiştir (Wojciechowska vd., 2020).

Centella asiatica (Apiaceae), madecassoside, asiaticoside, madecassic asit ve asiatic asit gibi çeşitli triterpenoidler içeren tropikal/subtropikal bir tıbbi bitkidir. Doğal ortamda üretilen bitkilerin ve Yaprak ve yaprak sapı eksplantlarından elde edilen tüylü köklerdeki sekonder metabolit analizleri yapılmış ve Triterpenoid konsantrasyonu C.

asiatica bitkilerinin yapraklarında yaprak saplarına göre 2 kat daha yüksek olmasına rağmen, yaprak sapından türetilen saçaklı kök kültürlerindeki triterpenoid birikimi yapraktan türetilen saçaklı kök kültürlerine göre 1,4 kat daha yüksek bulunmuştur (Baek vd., 2022).

1.3.Sürgün Kültürleri

Meristematik özellik gösteren koltuk altı veya sürgün ucundaki dokuların uygun besin ortamında kültüre alınması ile gerçekleştirilmektedir. Sürgün ucu kültürleri, farklılaşmamış kültürlerle, yani kallus ve hücre süspansiyon kültürlerine, nazaran daha yüksek düzeyde metabolit üretmektedir.

Güney Afrika'nın endemik florasında yetişen tıbbi ve süs amaçlı bir gövde-sukulent olan *Huernia hystrix*'in sürgün çoğaltımı ve sekonder metabolit üretimine bitki büyüme düzenleyicilerin etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde, doğadan toplanan *H. hystrix* 'te yoğunlaştırılmış tanenler tespit edilmediği halde sitokin ile tek başına veya NAA ile kombinasyon halinde yapılan kültür işlemleri sonucunda bu türün mikro çoğaltılmış sürgünlerinde yoğunlaştırılmış tanen üretimi belirlenmiştir. Çalışmada sonucunda, metaTopolin kullanımının yüksek metabolit üretimini sağladığı, oksin-sitokin etkileşimlerinin *H. hystrix* 'te sürgün çoğaltması ve sekonder metabolit üretimi üzerindeki farklı etkileri olduğu bildirilmiştir (Amoo ve Staden, 2013).

Ruta graveolens'in sıvı ortamdaki sürgün kültürlerinde bir öncül (fenilalanin) eklenmesinin ikincil metabolitlerin birikimi üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışma sonucunda hem kontrol hem de deney kültürlerinde aynı ikincil metabolitler elde edilmiştir. Fenolik asit ve kateşin üretimi (1,5 kat), öncül ilavesiyle önemli ölçüde arttığı, kumarin ve alkaloidlerin üretiminde ise bir fark olmadığı belirlenmiştir (Szewczyk vd.,2023).

Farklı *Vitis vinifera* L. çeşitlerinin sürgün kültürlerinin başlatılması ve iyileştirilmesi amacı ile çeşitli bitki büyüme düzenleyicileri konsantrasyonlarıyla Murashige ve Skoog (MS) ve Schenk ve Hildebrandt (SH) olmak üzere iki ortam kullanılarak 30 günlük büyüme döngüleri gözlenmiştir. Test edilen tüm özütlerde 45 bileşik tanımlanmıştır. Metabolik içerik üzerinde genotipin ve ortamın etkisini değerlendirmek için temel bileşen analizi (PCA) yapılmıştır. PCA, metabolik içeriğin esas olarak genotipten ve daha az ölçüde ortam bileşiminden etkilendiğini göstermiştir. MS ortam varyantları amino asit, prosiyanidin ve flavan-3-ol üretimini indüklemiştir. Ek olarak, antioksidan potansiyel ve anti-tirozinaz aktivitesi spektrofotometrik olarak ölçülmüştür. Antioksidan aktivite üzerine yapılan çalışmalar, test edilen özütlerde serbest radikalleri azaltmada çok yüksek bir etkinlik olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Bu çalışma sonucunda, *V. vinifera* cvs.'nin in vitro kültürlerinin, kozmetik endüstrisinde potansiyel olarak kullanılacak alternatif bir bitkisel materyal kaynağı olarak önerilebileceği bildirilmiştir (Sharafan, vd, 2023).

1.4.Embriyo Kültürü

Sekonder metabolitlerin çoğu gelişmekte olan embriyolarda sentezlenirken, geri kalanı kısmen veya tamamen ana bitkiden elde edilir. Bunun yanı sıra, bitki gelişiminin erken evrelerinde çeşitli fenolik, alkaloid ve terpenoidlerin sentezlendiği bildirilmiştir. Bir bitkide metabolitin embriyoda üretimi yada birikimi yapılıyorsa, bu metabolitin üretimi için embriyo kültürü tercih edilmelidir. Bu amaçla ya doğrudan ya da dolaylı olarak yani zigotik olmayan somatik embriyoların öncelikle elde edilmesi gerekir (Murthy, vd., 2023).

Eurycoma longifolia Jack, sıtma önleyici, dizanteri önleyici, tümör önleyici vb. gibi tıbbi amaçlar için sekonder metabolitler üretebilen bir bitki olarak bilinmektedir. Ancak bitkinin tohumla üretimi zordur, bitkinin aşırı kullanımı da doğal yaşam alanındaki bitki popülasyonunu azaltacaktır. Bu nedenle, in vitro kültür, yani somatik embriyogenez yoluyla, bitki rejenerasyonu ve in vitro metabolit üretimi için alternatif bir yöntem araştırılmıştır. Bitkinin somatik embriyosunda sekonder metabolit profili analiz edilmiştir. Tohumdan elde edilen kallus, eksplant olarak kullanılmıştır. Bitkinin somatik embriyosunda alkaloid ve terpenoid maddelerin varlığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, embriyonik kallus ve somatik embriyonun karışımı, alkaloid, terpenoid maddeler ve fenol gibi sekonder metabolitler üretmiştir. Bununla birlikte, embriyonik kallus ve somatik embriyonun karışımındaki metabolitlerin konsantrasyonu, embriyonik olmayan kallusa kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir (Rahmawati, vd., 2014).

Nigella sativa L., Ranunculaceae familyasından muazzam öneme sahip tıbbi bir bitkidir. Antik çağlardan beri birçok hastalığı tedavi etmek için geleneksel olarak kullanılmıştır. Farklı oksinlerin *N. sativa* L. cv. *Black Diamond*'ın kallus indüksiyonu ve sonraki somatik embriyo oluşumu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen kallus ve embriyo kültürlerinin sekonder ürünlerinin metabolik profilleri, oksin uygulamaları sonucunda belirlenmiştir; kallus kültürlerinin önemli bir miktarda (%2,76) timokinon (TQ) içerdiği saptanmıştır. Bu nedenle, kallus kültürleri farmasötik ve terapötik amaçlar için mükemmel bir alternatif TQ kaynağı olarak kullanılabilirliği bildirilmiştir. Ek olarak, yağ asitleri ve/veya esterleri kallus ve embriyo kültürlerinde ana bileşenler olarak kaydedilmiştir. Bu hayati bileşiklerin izole edilerek ve çok sayıda endüstriyel uygulama için kullanılabilirliği belirlenmiştir (Higazy vd., 2023).

1.5.Kallus Kültürleri

Kallus kültürleri ana bitkiden kesilip çıkartılan ve bölünme özelliğini yitirmemiş organ veya doku parçalarının karbon kaynağı (genellikle sakkaroz) ve bitki büyüme düzenleyicileri (genellikle bir oksin ve bir sitokinin) içeren yarı katı besi ortamında büyütülmesi sonucu oluşan morfolojik düzensizliğe sahip kütleler olarak tarif edilebilir. In vitro kültürler arasında, Kallus kültürü sekonder metabolit üretimi için tüm bitki

çoğaltımına alternatif olabilir. Ancak üretilecek metabolitin sentezlendiği doku parçasının kallus üretim kaynağı olarak kullanılmasına dikkat edilmelidir.

Linum usitatissimum L., farmakolojik olarak önemli sekonder metabolitlerin üretimiyle iyi bilinmektedir. İnsan sağlığı üzerindeki muazzam faydalı etkileri nedeniyle, bu bileşikler özellikle çeşitli kanser türlerinin tedavisinde Dünya çapında daha fazla ilgi görmektedir. Keten'in in vitro kallus kültürü ile biyolojik açıdan önemli sekonder metabolitlerinin üretimi için etkili bir protokol araştırılmıştır. Sonuçlar, yaprak eksplantından elde edilen kallusların en yüksek biyokütle ve antioksidan aktiviteyi biriktirdiğini, en yüksek toplam fenolik ve flavonoid üretiminin ise gövdeden elde edilen kalluslarda belirlenmiştir (Anjum vd., 2017).

Fındık, son zamanlarda paklitaksel için sürdürülebilir bir kaynak olarak önerilen en önemli bitkilerinden biridir. Bitki büyüme düzenleyicilerin konsantrasyonunun ve kombinasyonunun, farklı bazal ortam ve ultrasonik dalgaların fındık kallus kültürlerinde kallus indüksiyonu ve büyümesi, fizyolojik özellikleri ve taksol ve bakatin III üretimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, kültür ortamının besin bileşimi ve konsantrasyonu, hücre büyümesini ve kültürlerin fizyolojik durumunu etkilemekle kalmayıp aynı zamanda sekonder metabolitlerin üretimini ve birikimini de iyileştirdiği belirlenmiştir (Hazrati vd., 2022).

1.6.Hücre Süspansiyon Kültürleri

Tek hücrelerin ya da hücre gruplarının sıvı büyüme ortamında, çalkalanarak ya da özel havalandırma sistemleri ile kültüre alınması sonucu bitkisel metabolitlerin üretiminin yapıldığı kültürlerdir. Doğrudan ana bitki dokusudan başlatılabileceği gibi daha çok kallus kültürlerinin başlatıcı kültür materyali olması tercih edilmektedir.

Sageretia thea, Çin ve Kore'de bitkisel ilaç hazırlanmasında kullanılan fenolikler ve flavonoidler de dahil olmak üzere çeşitli biyoaktif bileşikler açısından zengin tıbbi bir bitkidir. *S. thea'nın* bitki hücre süspansiyon kültürlerinde fenolik bileşiklerin üretimini artırmak amacı ile kotiledon eksplantları başlatıcı materyal seçilmiştir. Besin ortamına eklenen çeşitli oksin, askorbik asit, metil jasmonat (MeJA), salisilik asit (SA) ve sodyum nitroprussidin (SNP) uyarıcılarının etkileri hücre süspansiyon kültürlerinde incelenmiştir. Balon tipi kabarcıklı biyoreaktörlerde yapılan dört haftalık kültürlerden sonra 230,81 g taze biyokütle ve 16,48 g kuru biyokütlenin optimum verimi elde edilmiştir (Kim vd., 2023).

Carthamus tinctorius, çeşitli biyoaktif bileşenler, özellikle klorojenik asitler (CGA'lar) içerdiğinden yaygın olarak gıda ve ilaç olarak kullanılır. *C. tinctorius* hücre süspansiyon kültürü oluşturulmuştur. CGA üretimi, mevcut literatürde bitki kültürü hücreleri arasında ilk kez en yüksek seviyede elde edilmiştir. Sonuç olarak CGA'ların büyük ölçekli üretimi için sağlam bir protokol elde edildiği ve CGA'ların fonksiyonel

gıda ve ilaç endüstrilerinde α -glukozidaz inhibitörü olarak uygulama olasılıklarını ortaya koymuştur (Liu vd., 2023).

2. Bitki Doku Kültürü Yöntemlerinde Sekonder Metabolit Üretiminin Arttırılması

Sekonder metabolitlerin üretiminde her tekniğin kendine has özellikleri ve üretimde sorunları vardır. Genel olarak tüm tekniklerde karşılaşılan sorun, bazı özgün sekonder metabolitlerin üretimindeki düşük verimliliklerdir. Bu nedenle, bitki doku kültürü süreçlerinin optimize edilmesi ve yeni tekniklerin geliştirilmesi gerekmektedir. Örneğin, elisitör (uyarıcı uygulama) yöntemi, bitki hücre kültürlerinde sekonder metabolit üretimini arttırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Elisitörler, bitkilerin stres yanıtlarını tetikleyerek sekonder metabolitlerin sentezini artırabilir. Elisitasyon, bitki hücre kültürlerinde stres tepkilerini artırarak, savunma ile ilgili genlerin aktivasyonunu ve metabolitlerin sentezini teşvik eder. Bu bağlamda, elisitör türü, dozu ve uygulama süresi, sekonder metabolit üretiminde önemli faktörlerdir (Narayani ve Srivastava, 2017; Humbal, A., Pathak, 2023).

Yapılan bir incelemede, bitkilerin stres altında sekonder metabolit üretimini arttırmak için çevresel faktörlerin manipülasyonunun önemine vurgu yapılmaktadır. Su, ışık, atmosfer gazları ve sıcaklık gibi abiotik stres koşulları, bitkilerin metabolik yanıtlarını tetikleyerek sekonder metabolitlerin sentezini artırabilir (Espinosa vd., 2022).

Ayrıca, bitki doku kültürü ile birlikte kullanılan biyoteknolojik araçlar, sekonder metabolitlerin üretimini arttırmak için yeni fırsatlar sunmaktadır. Örneğin, bitki hücre kültürlerinde kullanılan biyoreaktörlerin optimizasyonu, metabolit üretimini arttırmak için kritik bir faktördür. Biyoreaktörlerde hücre agregasyonu, karıştırma, havalandırma ve kesme hassasiyeti gibi mühendislik parametrelerinin dikkate alınması, başarılı bir üretim süreci için gereklidir (Kowalczyk vd., 2022).

Genetik mühendislik ve metabolik mühendislik uygulamaları, bitkilerin metabolik yollarını manipüle ederek hedeflenen sekonder metabolitlerin üretimini artırabilir¹². Özellikle, transgenik bitki kültürleri, güvenli ve verimli bir şekilde değerli sekonder metabolitlerin üretimi için potansiyel taşımaktadır (Fazili vd., 2022).

3. SONUÇ

Sekonder metabolitlerin üretiminde yeni bitki doku kültürü tekniklerinin geliştirilmesi, hem bilimsel hem de endüstriyel açıdan büyük bir potansiyele sahiptir. Bu alandaki yenilikler, bitkisel kaynakların sürdürülebilir kullanımını sağlarken, aynı zamanda tıbbi ve endüstriyel uygulamalar için gerekli olan bioaktif bileşiklerin teminini kolaylaştıracaktır.

KAYNAKÇA

Miladinova-Georgieva, K., Geneva, M., Stancheva, I., Petrova, M., Sichanova, M., & Kirova, E. (2022). Effects of different elicitors on micropropagation, biomass and

secondary metabolite production of *Stevia rebaudiana* Bertoni—A review. *Plants*, 12(1), 153.

Mohaddab, M., El Goumi, Y., Gallo, M., Montesano, D., Zengin, G., Bouyahya, A., & Fakiri, M. (2022). Biotechnology and In Vitro Culture as an Alternative System for Secondary Metabolite Production. *Molecules*, 27(22), 8093. <https://doi.org/10.3390/molecules27228093>

Babich, O., Sukhikh, S., Pungin, A., Ivanova, S., Asyakina, L., & Prosekov, A. (2020). Modern Trends in the In Vitro Production and Use of Callus, Suspension Cells and Root Cultures of Medicinal Plants. *Molecules*, 25(24), 5805. <https://doi.org/10.3390/molecules25245805>

Khanam, M. N., Anis, M., Javed, S. B., Mottaghipisheh, J., & Csupor, D. (2022). Adventitious Root Culture—An Alternative Strategy for Secondary Metabolite Production: A Review. *Agronomy*, 12(5), 1178. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051178>

Hussain, M. J., Abbas, Y., Nazli, N., Fatima, S., Drouet, S., Hano, C., & Abbasi, B. H. (2022). Root cultures, a boon for the production of valuable compounds: A comparative review. *Plants*, 11(3), 439.

Sarropoulou, V., Sarrou, E., Angeli, A., Martens, S., Maloupa, E., & Grigoriadou, K. (2023). Species-Specific Secondary Metabolites from *Primula veris* subsp. *veris* Obtained *In Vitro* Adventitious Root Cultures: An Alternative for Sustainable Production. *Sustainability*, 15(3), 2452. <https://doi.org/10.3390/su15032452>

Gantait, S., Mukherjee, E. Hairy root culture technology: applications, constraints and prospect. *Appl Microbiol Biotechnol* 105, 35–53 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00253-020-11017-9>

Roy, A. (2021). Hairy root culture an alternative for bioactive compound production from medicinal plants. *Current pharmaceutical biotechnology*, 22(1), 136-149.

Biswas, D., Chakraborty, A., Mukherjee, S., & Ghosh, B. (2023). Hairy root culture: a potent method for improved secondary metabolite production of Solanaceous plants. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1197555.

Malarz, J., Yudina, Y. V., & Stojakowska, A. (2023). Hairy Root Cultures as a Source of Phenolic Antioxidants: Simple Phenolics, Phenolic Acids, Phenylethanoids, and Hydroxycinnamates. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(8), 6920. <https://doi.org/10.3390/ijms24086920>

Wojciechowska, M., Owczarek, A., Kiss, A. K., Grąbkowska, R., Olszewska, M. A., & Grzegorzczak-Karolak, I. (2020). Establishment of hairy root cultures of *Salvia bulleyana* Diels for production of polyphenolic compounds. *Journal of biotechnology*, *318*, 10-19.

Baek, S., Han, J. -E., Ho, T. -T., & Park, S. -Y. (2022). Development of Hairy Root Cultures for Biomass and Triterpenoid Production in *Centella asiatica*. *Plants*, *11*(2), 148. <https://doi.org/10.3390/plants11020148>

Amoo, S.O., Van Staden, J. Influence of plant growth regulators on shoot proliferation and secondary metabolite production in micropropagated *Huernia hystrix*. *Plant Cell Tiss Organ Cult* *112*, 249–256 (2013). <https://doi.org/10.1007/s11240-012-0230-x>

Szewczyk, A., Paździora, W., & Ekiert, H. (2023). The Influence of Exogenous Phenylalanine on the Accumulation of Secondary Metabolites in Agitated Shoot Cultures of *Ruta graveolens* L. *Molecules*, *28*(2), 727. <https://doi.org/10.3390/molecules28020727>

Sharafan, M., Malinowska, M. A., Kubicz, M., Kubica, P., Gémin, M. -P., Abdallah, C., Ferrier, M., Hano, C., Giglioli-Guivarc'h, N., Sikora, E., Lanoue, A., & Szopa, A. (2023). Shoot Cultures of *Vitis vinifera* (Vine Grape) Different Cultivars as a Promising Innovative Cosmetic Raw Material—Phytochemical Profiling, Antioxidant Potential, and Whitening Activity. *Molecules*, *28*(19), 6868. <https://doi.org/10.3390/molecules28196868>

Murthy, H.N., Joseph, K.S., Hahn, JE. *et al.* Suspension culture of somatic embryos for the production of high-value secondary metabolites. *Physiol Mol Biol Plants* *29*, 1153–1177 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12298-023-01365-x>

Rahmawati, A., & Esyanti, R. R. (2014). Analysis of secondary metabolite production in somatic embryo of Pasak Bumi (*Eurycoma longifolia* Jack.). *Procedia Chemistry*, *13*, 112-118.

Higazy, A. E., El-Mahrouk, M. E., El-Banna, A. N., Maamoun, M. K., El-Ramady, H., Abdalla, N., & Dobránszki, J. (2023). Production of Black Cumin *via* Somatic Embryogenesis, Chemical Profile of Active Compounds in Callus Cultures and Somatic Embryos at Different Auxin Supplementations. *Agronomy*, *13*(10), 2633. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102633>

Anjum, S., Abbasi, B.H. & Hano, C. Trends in accumulation of pharmacologically important antioxidant-secondary metabolites in callus cultures of *Linum usitatissimum* L.. *Plant Cell Tiss Organ Cult* *129*, 73–87 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11240-016-1158-3>

Hazrati, R., Zare, N., Asghari-Zakaria, R. *et al.* Factors affecting the growth, antioxidant potential, and secondary metabolites production in hazel callus cultures. *AMB Expr* **12**, 109 (2022). <https://doi.org/10.1186/s13568-022-01449-z>

Kim, J. -H., Han, J. -E., Murthy, H. N., Kim, J. -Y., Kim, M. -J., Jeong, T. -K., & Park, S. -Y. (2023). Production of Secondary Metabolites from Cell Cultures of *Sageretia thea* (Osbeck) M.C. Johnst. Using Balloon-Type Bubble Bioreactors. *Plants*, *12*(6), 1390. <https://doi.org/10.3390/plants12061390>

Liu, Z., Du, L., Liu, N., Mohsin, A., Zhu, X., Sun, H., ... & Wang, Z. (2023). Insights into chlorogenic acids' efficient biosynthesis through *Carthamus tinctorius* cell suspension cultures and their potential mechanism as α -glucosidase inhibitors. *Industrial Crops and Products*, *194*, 116337.

Narayani, M., & Srivastava, S. (2017). Elicitation: a stimulation of stress in in vitro plant cell/tissue cultures for enhancement of secondary metabolite production. *Phytochemistry reviews*, *16*, 1227-1252.

Humbal, A., & Pathak, B. (2023). Influence of exogenous elicitors on the production of secondary metabolite in plants: A review (“VSI: secondary metabolites”). *Plant Stress*, *8*, 100166.

Espinosa-Leal, C. A., Mora-Vásquez, S., Puente-Garza, C. A., Alvarez-Sosa, D. S., & García-Lara, S. (2022). Recent advances on the use of abiotic stress (water, UV radiation, atmospheric gases, and temperature stress) for the enhanced production of secondary metabolites on in vitro plant tissue culture. *Plant Growth Regulation*, *97*(1), 1-20.

Kowalczyk, T., Merez-Sadowska, A., Picot, L., Brčić Karačonji, I., Wiczfinska, J., Śliwiński, T., & Sitarek, P. (2022). Genetic Manipulation and Bioreactor Culture of Plants as a Tool for Industry and Its Applications. *Molecules*, *27*(3), 795. <https://doi.org/10.3390/molecules27030795>

Fazili, M. A., Bashir, I., Ahmad, M., Yaqoob, U., & Geelani, S. N. (2022). In vitro strategies for the enhancement of secondary metabolite production in plants: a review. *Bulletin of the National Research Centre*, *46*(1), 35.

PRODUCTION OF ORNAMENTAL PLANTS USING PLANT TISSUE CULTURE METHODS

Assoc. Prof. Dr. Burcu ÇETİN

Kütahya Dumlupınar University,
burcu.cetin@dpu.edu.tr-0000-0003-1465-

1464

Res. Asst. Dr. Ayhan YILMAZ

Kütahya Dumlupınar University,
ayhan.yilmaz@dpu.edu.tr-0000-0003-0410-8687

ABSTRACT

Plant tissue cultures are the techniques used to reproduce and develop plant cells, tissues, or organs under *in vitro* conditions. In recent years, the ornamental plants sector has undergone a major transformation with the use of plant tissue culture techniques. By preserving the genetic characteristics of plants with meristem culture and organogenesis methods, which are plant tissue culture techniques, high-quality and disease-free plant materials are produced in a way that is more suitable for market demands. In addition, it is stated that *in vitro* methods are an important tool for protecting flower species that are under threat of extinction and for developing new species that will provide diversity in the market. Plant tissue culture offers significant opportunities in floriculture, both economically and ecologically. The effective use of these techniques will be of critical importance for the future development of the ornamental plant sector.

In this review, a general update is present on the propagation of ornamental plants under tissue culture conditions, *in vitro* plant development techniques, limiting factors, and future perspectives.

Key Words: Ecology, *in vitro*, meristem culture, organogenesis, plant tissue culture.

BİTKİ DOKU KÜLTÜRÜ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK SÜS BİTKİLERİNİN ÜRETİMİ

Doç. Dr. Burcu ÇETİN

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi,
burcu.cetin@dpu.edu.tr-0000-0003-1465-1464

Arş. Gör. Dr. Ayhan YILMAZ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi,
ayhan.yilmaz@dpu.edu.tr-0000-0003-0410-8687

ÖZET

Bitki doku kültürleri, bitki hücrelerini, dokularını veya organlarını *in vitro* koşullarda çoğaltmak ve geliştirmek için kullanılan tekniklerdir. Son yıllarda, süs bitkileri sektöründe bitki doku kültürü tekniklerinin kullanılması ile büyük bir dönüşüm yaşanmaktadır. Bitki doku kültürü tekniklerinden olan meristem kültürü ve organogenez yöntemleri ile bitkilerin genetik özellikleri korunarak, yüksek kaliteli ve hastalıklardan arındırılmış bitki materyalleri pazar taleplerine daha uygun olarak üretilmektedir. Ayrıca, nesli tükenme tehlikesi altında olan çiçek türlerinin korunması, pazarda çeşitlilik sağlayacak yeni türlerin geliştirilmesi için *in vitro* yöntemlerin önemli bir araç olduğu belirtilmektedir. Bitki doku kültürü, çiçekçilik alanında hem ekonomik hem de ekolojik açıdan önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu tekniklerin etkin bir şekilde kullanılması, süs bitkileri sektörünün gelecekteki gelişimi için kritik bir öneme sahip olacaktır.

Bu derlemede, süs bitkilerinin doku kültürü koşullarındaki çoğaltımı, *in vitro* bitki geliştirme teknikleri, sınırlayıcı faktörler ve geleceğe yönelik perspektifler hakkında genel bir güncelleme sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Bitki doku kültürü, ekoloji, *in vitro*, meristem kültürü, organogenez.

1. BİTKİ DOKU KÜLTÜRÜ

Süs bitkileri, peyzaj düzenlemesinde ve yeşil alanlarda kullanılırlar ve insanların yaşadığı iç ve dış ortamların yaşam kalitesini iyileştirirler. Bu önemli özelliklerinin yanı sıra, erozyonu kontrol etmek, toprağı ve havayı temizlemek, enerji ve su tüketimini azaltmak gibi ekosistem hizmetleri de sağlarlar. Dünya nüfusunun %70'inin 2050 yılında kentsel alanlarda ikamet etmesi beklenmektedir. Bu durum ileride iklim değişikliği, su kıtlığı, kirlilik ve insan refahının azalması gibi problemler oluşturmaya neden olacaktır. Bu problemlerin çözümü amacıyla, şehir ve ev içi alanlardaki süs bitkilerinin potansiyellerinin belirlenmesi, geliştirilmesi, yeni süs bitki türlerinin üretilmesi ve yetiştirilmesi ile ilgili araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Francini vd., 2022).

Bitki doku kültürü, bitkilerin morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve genetik vb. temel bilimlerdeki araştırmalarda kullanılan bitki biyoteknolojisi yöntemleridir. Bu alanlarda elde edilen veriler ışığında bitki, hücre ve dokuların *in vitro* koşullardaki potansiyelleri belirlenmektedir; klonal üretim, yeni türlerin elde edilmesi, hastaliksız bitki üretimi, gen bankaları, bitkisel metabolitlerin üretimi ile ilgili birçok araştırma yapılmaktadır. Bitki doku kültürü teknikleri bitkilerin organ, doku, hücrelerinin steril koşullarda, özel besin ortamlarında ve kontrollü koşullarda kültüre alınması işlemleridir. Besin ortamı, bitki büyüme gelişiminde rol oynayan makro ve mikro elementleri içeren kimyasal ve organik bileşikleri ve vitaminleri içerir. White ortamı kimyasal olarak tanımlanan ilk besin ortamıdır (White, 1939). Daha sonra, Murashige ve Skoog tarafından, Murashige-Skoog (MS) ortamı olarak bilinen ve en çok kullanılan besin ortamı geliştirilmiştir (Murashige, T, Skoog, 1962). Sterilizasyon işleminden önce, besin ortamının pH'sı bitkilerin besin elementlerini en iyi alabileceği şekilde ayarlanır. Besin ortamına bitkinin tutunmasını kolaylaştırmak için farklı türde agarlar (fitajel, gelrit, gellan zankı vb.) ilave edilir. Bitkinin kültürü ihtiyaç duyduğu sıcaklık ve fotoperiyoda göre, steril koşullarda yapılır. Bitki doku kültürü çalışmalarındaki başarı, bitkiye özgü tepki nedeniyle büyük ölçüde kültür ortamı bileşimi, kültür koşulları, genotip ve eksplant türüne vb. bağlıdır (Babaoğlu vd., 2001; Gürel vd., 2013; Kocaçalışkan, 2023).

Gottlieb Haberlandt, yapay besin ortamlarında izole bitki hücrelerini kültüre aldığı, esas olarak karmaşık çok hücreli organizmalar içindeki hücre-hücre ilişkileriyle ilgileniyordu (Haberlandt, 1902). Deneylerinin sonuçlarını tartışırken, dikkate değer hücre büyümesine rağmen hücre bölünmesinin asla gözlemlenmediğini belirtti. Hücre bölünmesini uyararak için "büyüme enzimlerinin" gerekli olduğunu ileri sürdü ve besin çözeltilerine meristem dokusundan elde edilen özütlerin eklenmesini önerdi. Yaptığı çalışmalar sonucunda "Teorik olarak tüm bitki hücreleri tam bir bitkiye yol açabilir." olarak açıkladığı "totipotensi" kavramını ortaya attı, ancak ispat edemedi. Haberlandt'ın öncü yayımından elli yıldan daha uzun bir süre sonra Skoog ve Miller, kallus oluşturan bitki hücrelerini ortamdaki oksin-sitokinin dengesini manipüle ederek, filizleri veya kökleri yeniden canlandırmak üzere uyarılabildiğini keşfettiler (Skoog ve Miller, 1957). Bu bulgular 1960'lardan bu yana, prensipte tüm yüksek bitkilere uygulanabilir olan *in vitro* çoğaltma teknolojilerinin geliştirilmesini başlatmıştır (Preil, 2003). Süs bitkileri alanında ise orkidelerin kitlesel çoğaltımı ilk olarak yapıldı ve tek bir Cymbidium eksplantından yılda dört milyon bitki elde edilebileceğini hesaplandı (Morel, 1960). Bu keşif, orkide yetiştiricileri tarafından ticari doku kültürü laboratuvarlarının kurulmasına yol açmıştır.

Bu derlemede süs bitkileri üretimi ve geliştirilmesinde kullanılan bitki doku kültürü teknikleri ve yapılan güncel araştırmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

2. BİTKİ DOKU KÜLTÜRÜ TEKNİKLERİ

Bitki doku kültürü teknikleri kullanılan eksplant kaynağına göre isimlendirilirler. Bunlar; embriyo kültürü, meristem kültürü, kallus kültürü, hücre kültürü, haploid kültürler, protoplast kültürüdür.

2.1. Meristem Kültürü

Mikroçoğaltım yöntemlerinde en başarılı sonuçlar meristem kültürü çalışmalarında alınmaktadır. Meristem kültürü, yaprak taslağı olmayan veya en fazla 1-2 yaprak taslağı olan meristem dokuların kültüre alınması işlemidir. Çiçekli bitkilerin üretiminde, meristem kültürü uygulamaları ile hızlı, yüksek kaliteli ve hastaliksız bitkiler elde edilebilmekte, çaprazlama sonucu elde edilen melez bitkiler meristem kültürü ile daha hızlı ve verimli bir şekilde çoğaltılmaktadır. Bu durum, çiçek üretiminde pazar

taleplerine hızlı bir şekilde yanıt verme yeteneği sağlamaktadır (Rout vd., 2006). Bu konuda yapılan bir çalışmada; Brezilya'ya özgü olan ve Hollanda, Almanya, Portekiz ve Amerika Birleşik Devletleri gibi diğer ülkelere ihraç edilen, minyatür süs ananas melezinin virüsten arı sağlıklı olarak vejetatif çoğaltılması için farklı yöntemler karşılaştırmıştır. Geleneksel çoğaltım 566 günde bitki başına 17 bitkicik, gövde kesimi 591 günde gövde başına 2-3 bitkicik, geleneksel mikroçoğaltma tekniği ise 778 günde dört alt kültürden sonra 1284 bitki üretmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, sürgün uçlarının yetiştirilmesinin PMWaV kompleksini ortadan kaldırmak ve sağlıklı ana bitkiler elde etmek için etkili bir strateji olduğunu ve diğer ananas çeşitleri için de yararlı bir araç olabileceğini bildirilmiştir (Silva vd.,2021). Bir başka çalışmada ise, Xu ve arkadaşları (2022) tarafından geleneksel çoğaltma yöntemleri ile üretilmesi zor olan Ağaç Şakayığı (*Paeonia sect. Moutan*) meristematik nodüllerinin kültüre alınarak hızla çoğaltılabileceği bildirilmiştir.

Meristem kültürü aşamasında bitkinin gelişimi, besin ortamına eklenen şeker miktarının azaltılması, büyümeyi yavaşlatan engelleyici maddelerin ilave edilmesi ya da kültür odasındaki ışık, sıcaklık gibi çevre şartlarının değiştirilmesi gibi işlemler ile yavaşlatılır ya da -196°C gibi düşük sıcaklıklarda durdurulur, bu uygulamalar sayesinde meristem dokuları uzun süreli muhafaza edilebilmektedir (Silva vd., 2018; Kaviani vd., 2022). İran'ın kuzey kesimindeki Hyrcanian ormanlarında nesli tükenmekte olan *Buxus sempervirens* mükemmel süs değerine sahip ancak şimşir yanıklığı hastalığı nedeniyle neslinin tükenme riski altındadır. Yapılan meristem kültürü çalışmaları sonucunda, bitkinin sürgün uçlarının *in vitro* depolama teknikleri ile koruma altına alınabileceği bildirilmiştir (Negahdar vd, 2021).

2.2. Embriyo Kültürü

Embriyonun, çiçeğin yumurtalığındaki tohum taslağı içinde devam eden gelişmesinin belirli bir safhasında, buradan alınarak besin ortamına transfer edilmesi ve geliştirilmesine "embriyo kültürü" denir. Embriyo kurtarma işleminin başarısı embriyonun boyutu ve yaşı, embriyonun sağlamlığı, çıkarma prosedürü, sterilizasyon, kültür ortamı, kültür ortamındaki takviyeler, ışık, sıcaklık vb. gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Embriyo düşüklüğü, tohum dormansisi, kendi kendine ve çapraz uyumsuzluk problemlerinin çözümü ve tür içi/türler arası/cinsler arası melez geliştirme,

haploid/double haploid üretim, üreme döngüsünün kısaltılması ve nadir bitkilerin çoğaltılması vb. yöntemler ile bitki iyileştirmede kullanılmıştır (González vd., 2023; Rogo vd., 2023). Asclepiadaceae ailesinin bir üyesi olan kelebek otu (*Asclepias tuberosa*) birçok ticari olarak arzu edilen özelliğe sahip olmasına rağmen tozlaşma ve düşük tohum tutumu gibi problemler nedeniyle yerel bitki fidanlıkları dışında çok az ticari üretim vardır. Bu nedenle bu bitkinin embriyo kültürü ile çoğaltılması ile ilgili çalışmalar yapılmış ve yüzey sterilizasyon teknikleri, çıkarma yöntemleri, tabakalaşma süreleri, ortam tipi/gücü ve embriyo hasat süresi dahil olmak üzere kelebek otu için başarılı bir embriyo kurtarma protokolü belirlenmiştir (Lewis vd., 2020). Dünya çapında yetiştirilen en önemli süs çiçeklerinden biri olan krizantemin üretimi toprak tuzluluğu probleminden dolayı ciddi şekilde engellemiştir. Krizantem cinsine yakın ve tuza dayanıklı bir tür olan *Crossostephium chinense*, üç krizantem bitki materyali ile melezlenmiştir. Polen çimlenmesi ve polen tüpü uzaması, bu cinsler arası melezlerdeki potansiyel melezleşme engellerini değerlendirmek için incelenmiştir. Daha sonra, embriyo kurtarma tekniği ile melezler elde edilmiştir. Geliştirilen prosedür ile güçlü tuz toleransına sahip yeni türler arası melezlerin başarı ile üretilebileceği bildirilmiştir (Li vd., 2023).

2.3. Kallus Kültürü

Kallus, bitki doku veya hücrelerinin tersine farklılaşmaya uğramaları sonucu oluşturdukları farklılaşmamış hücre yığınlarıdır. Başarılı kallus indüksiyonu bitki türüne, kullanılan eksplanta, kültür ortamına, kültür ortamındaki bitki büyüme düzenleyicilerine ve büyüme koşullarına bağlıdır. Kallus oluşumu ve büyümesinde oksin grubu bitki büyüme düzenleyicilerin rol oynadığı belirlenmiştir. Kallustan bitki gelişimi ise organogenez ve embriyogenez olmak üzere iki yolla olur. Kallustan bitki elde edilmesi amacı ile yapılan çalışmalarda besin ortamına eklenen “oksin/sitokin” bitki büyüme düzenleyicilerinin oranları önemlidir. Oksin konsantrasyonu sitokininden çok fazla olursa veya ortamda sadece oksin bulunursa kök gelişimi, bunun tersine sitokin konsantrasyonu oksinden fazla olursa veya ortamda oksin bulunmazsa sürgün gelişimi görülür. Eğer besin ortamında oksin ve sitokin konsantrasyonu eşitse veya oksin sitokininden çok fazla değilse organ gelişimi olmaz kallus büyümesi olur. Ortamda hiç hormon bulunmazsa kallus büyüyemez. Kallustan direkt olarak organ gelişimi olmadan "embriyoid" adı verilen embriyo benzeri yapıların oluşmasına embriyogenez denir ve

daha sonra bu embriyolardan kök ve sürgün gelişimi olur. Bu yolla oluşan embriyolar zigotik olmayıp somatik olduğundan bunlara "somatik embriyo" ya da "embriyoid" ve bu yolla bitki elde edilmesine de "somatik embriyogenez" adı verilir (Melnik, 2023). *Euonymus alatus* hücre süspansiyon kültürlerinden etkili bir bitki rejenerasyon sistemi kurmak için olgunlaşmamış embriyolardan embriyonik kallus oluşumu araştırılmıştır. Olgunlaşmamış zigotik embriyolar 1 mg/L 2,4-diklorofenoksi asetik asit (2,4-D) ile desteklenmiş Murashige ve Skoog (MS) ortamında inkübe edildiğinde embriyonik kallus oluşumu % 50 olarak belirlemiştir. Sonuç olarak; embriyonik hücre süspansiyon kültürlerinden elde edilen hücre agregatları iki kotiledonlu normal somatik embriyolara başarıyla dönüştürülmüştür (Woo vd., 2021). Ticari olarak önemli bir süs bitkisi olmasının yanı sıra tıbbi, yem, toprak koruma, lif kullanımları ve çevre kirliliğini azaltma kapasiteleri için de yetiştirilen *Sansevieria*'nın eşeyli çoğaltımı, yaşayabilir tohumların olmaması nedeniyle sınırlıdır ve üreme büyük ölçüde sürgünler veya çelikler tarafından vejetatif çoğaltma yoluyla yapılır. Ancak, bu yöntemler ise genetik olarak gelişme sınırlıdır. Catalano vd. (2023), yeni *Sansevieria* çeşitleri üretmek için *in vitro* somatik embriyogenez yöntemini kullanılmışlardır. Bir başka önemli kesme çiçek, saksı ve bahçe ürünlerinden biri olan zambak çiçeği, gövde ve soğan pulları üzerinde oluşan soğancıklar gibi vejetatif organlar yoluyla üretilir ancak bu üretim, artan ticari ihtiyacı karşılayamamaktadır. Somatik embriyo indüksiyonu ile çoğaltımın araştırıldığı bir çalışmada farklı eksplant dokularının etkinlikleri, PIC konsantrasyonları, ışık ve karanlık kültür koşulları belirlenmiş ve iki aylık sürede rejene bitkiler elde edildiği bildirilmiştir (Yan vd., 2020).

Kallus kültürü uygulamalarındaki koşullar varyasyona neden olabilmektedir. Kallus kültürünün uzun süre devam ettirilmesi ve alt kültürler yapılması sonucu bazı hücrelerde poliploidi, kromozom sayısı azalması, kromozomal kırılmalar gibi genetik değişiklikler oluşur. Bu durum homojen bitkiler üretme açısından istenmeyen bir durum olmasının yanı sıra, ıslah açısından ise bir avantajdır. *Passiflora vitifolia*'nın yaprak ve gövde eksplantlarının 1,5 mg l⁻¹ NAA ve 2-4, D içeren katı MS ortamında kültüre alınması sonucunda elde edilen kallusların genetik yapılarında, ortamların bileşim ve konsantrasyonlarının kromozomal instabilitesi üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir (Chandana vd., 2021). Bazı türlerde kallus homojen bir kütle halindedir, varyasyon göstermez. Kallus kültürü yöntemi ile *Eustoma grandiflorum* bitkisi üzerinde yapılan bir

çalışmada, belirlenen protokole göre bu bitkilerin hızlı ve genetik olarak stabil ve hızla çoğaltılabileceği bildirilmiştir (Skrzypczak vd., 1993).

Kallus kültürü nadir türlerin korunması amacı ile de kullanılabilir. Polonya'da, 2001'de yeniden keşfedilene kadar soyu tükenmiş bir tür olarak kabul edilen *Ranunculus illyricus* için kültürün başlatılması, kallus çoğalması, sürgün rejenerasyonu ve çoğaltılması son olarak eş zamanlı köklenme sonuçlarını içeren bir mikroçoğaltım protokolü oluşturulmuştur. Elde edilen bitki materyalinin park alanlarına dikilerek, kentsel yeşillığe çekici bir katkı olarak hizmet edebileceği ve bu esnada *ex situ* korunabileceği belirtilmiştir (Kocot vd., 2024).

2.4. Haploid Kültürler

Haploid bitkilerin üretiminde, anter ve yumurtalık kültürleri genetik olarak homozigot bireyler elde etmek için kritik bir araçtır ve bu durum, geleneksel ıslah yöntemlerine göre çok daha hızlı ve etkili bir şekilde sağlanabilmektedir (Lantos ve Pauk, 2021; Marwan vd., 2022). Anter kültürü, bitkilerin anterlerinden mikrosporların izole edilmesi ve kültür ortamında embriyo indüksiyonunun sağlanması ile gerçekleştirilir. Ancak, anter kültürü uygulamalarında anter duvarlarının varlığı, diploid veya somatik kallusların gelişimine yol açabilir. Bu durum besin ortamına konulacak hormonlar ile kontrol edilmelidir, anterlerden uygun gelişme döneminde tek tek mikrosporların alınması ile yapılacak mikrospor kültürü daha saf haploid bitkilerin elde edilmesine olanak tanır (Ferrie ve Caswell, 2011). Yumurtalık kültürü ise; tohum taslağından yumurta hücresi döllenmeden önce yumurtalık veya tohum taslakları çıkarılması ve kültüre alınması ile haploid bitkilerin elde edilmesi yöntemidir. Yumurtalık kültürü ile haploid bitki elde etme oranı anter kültüründeki kadar yüksek değildir. Eğer döllenmemiş tohum taslakları ile polenler bir araya getirilirse döllenme gerçekleşebilir ve sonuç olarak melez çeşitler elde edilebilir. Ya da haploid bitkilerin elde edilmesi aşamasından sonra kafein, kloral hidrat, sülfamilamit yada kolçisin gibi antimitotik etkiye sahip maddeler ile 2,4-D ve orizalin gibi herbisitler uygulanarak dihaploidizasyon yapılabilir. Bu uygulamalardan sonra elde edilen bitkilerin ploidi seviyelerinin belirlenmesi önemli bir işlemdir. Bunlar fenotipik

yöntemler, stoma anatomisi, kromozom sayımı ve son yıllarda diğer yöntemlere göre kesin ve hızlı sonuç veren moleküler belirteçler ve akış sitometrisi yöntemleridir (Domblides vd., 2022). *Gerbera hybrida* dünya çapında en popüler süs bitkilerinden biridir. Ticari çeşitlerin çoğu yabancı tip *G. jamesonii* ve *G. viridifolia'* nın çaprazlanmasıyla yetiştirildiğinden, *G. hybrida'* nın genomu oldukça heterozigottur. Homozigot bir genomun olmaması, ileri genetik tarama ve mutasyon haritalaması dahil olmak üzere moleküler genetik araştırmalar için zorluk oluşturmaktadır. Bu nedenle yapılan ovül kültürü çalışmasında, genotip, düşük sıcaklık ve ovüllerin gelişme mevsimleri gibi faktörler araştırılmıştır. Akış sitometrisi ile yapılan ploidi seviyesi ölçümleri, 288 ovülden türetilen rejenerantın haploid (%55,17) ve 218 hattın diploid (%41,76) olduğu saptamıştır. Rejenerantların genetik kararlılık analizi sonucunda ana bitkiye %100 benzerlik gösterdiği belirlenmiştir (Liv d., 2020).

2.5. Protoplast Kültürü

Protoplastlar, hücre çeperi olmayan bitki hücreleridir ve bu özellikleri sayesinde genetik materyal transferi ve hücre füzyonu gibi işlemler için idealdirler. Protoplast izolasyonu, hücre çeperlerinin enzimler ile eriterek protoplastların serbest olarak elde edilmesidir. Kültür ortamı olarak MS agar ortamı kullanılır. Hücre ilk olarak hücre çeperini oluşturur. Bu aşamadan sonra protoplastlar bölünür, koloniler oluşturur her koloni daha sonra kallus halinde gelişir. Bu aşamadan sonra besin ortamına koyulacak oksin, sitokinin hormonlarına göre kalluslardan sürgün ve kök geliştirilir. Protoplast hücrelerinin çeper içermemesi gen aktarımı ve “somatik melezleme” olarak adlandırılan somatik hücrelerin birleştirilerek yeni çeşitlerin elde edilmesini, hastalık ve strese dayanıklılık genlerinin kültür bitkilerine aktarılmasını sağlar (Mehub vd., 2022). Popüler süs bitkisi *Petunya*, doku kültüründe değerli bir model bitkidir. Tu vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada bitkinin izole edilen protoplastlarının, kallus, sürgün ve kök rejenerasyonları aşamasındaki hücresel dönüşümleri, çeşitli fitohormon kombinasyonları kullanılarak araştırılmış, aktif olan genler ve optimum protoplast kültür koşulları belirlenmiştir. Moleküler genetik alanındaki araştırmalarda da protoplast

kültürü kullanılmaktadır. *Petunia hybrida* cv. Mirage Rose ve 11 petunya çeşidi ile yapılan bir başka çalışmada ise protoplast izolasyon protokolü tekrar optimize edilmiştir. Ayrıca, Mirage Rose çeşidinin protoplastlarında yeşil floresan proteininin (GFP) yüksek geçici ekspresyonu için çeşitli faktörler (protoplast yoğunluğu, plazmit DNA miktarı, PEG'nin son konsantrasyonu ve transfeksiyon süresi gibi) araştırılmıştır. Tüm çeşitlerin transfekte edilmiş protoplastlarının çekirdeğinde yeşil floresan proteininin (eGFP) geçici ifadesi PCR kullanılarak doğrulanmıştır. Belirlenen yöntemin, kümelenmiş düzenli aralıklarla kısa palindromik tekrarlar (CRISPR/Cas9 RNP) teknolojisi kullanılarak petunyalardaki istenmeyen genlerin genom düzenlemesi için uygulanmasında değerli olabileceği ve petunyalardaki protein alt hücrel lokalizasyonu, protein-protein etkileşimleri ve işlevsel gen ifadesi üzerine yapılacak çalışmalara katkıda bulunabileceği bildirilmiştir.

3. SONUÇ

Bitki doku kültürü, çok disiplinli bir alan olarak, tarım, biyoteknolojisi ve çevre bilimleri gibi birçok alanda önemli bir rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalar temel ve uygulamalı bilimlere katkı sağlar. Dünya çapında birçok ticari laboratuvar ve ulusal araştırma enstitüsü *in vitro* hızlı bitki çoğaltımı, germ plazması muhafazası, patojenlerin ortadan kaldırılması, genetik manipülasyonlar ve ikincil metabolit üretimi için bitki doku kültürü yöntemlerini kullanmaktadır. Kültür işlemlerinin daha kolay, hızlı ve az maliyetle yapılması için gen teknolojileri, biyoreaktörler, led teknolojileri gibi bilimsel ve teknolojik gelişmelerden yararlanılması ve kültür sistemlerine entegrasyonu konusunda çalışmalar yapılması, bu alandaki potansiyeli daha da artıracaktır.

KAYNAKÇA

Francini, A., Romano, D., Toscano, S., Ferrante, A. The Contribution of Ornamental Plants to Urban Ecosystem Services. *Earth*, 3(4), 1258-1274, 2022.

White, P.R. Glycine in the Nutrition of Excised Tomato Roots. *Plant Physiol.* 14, 527–538, 1939

Murashige, T, Skoog, F, A Revised Medium for Rapid Growth and Bioassays with Tobacco Tissue Cultures, *Physiologia Plantarum*, 15, 473-497, 1962.

Babaoğlu, M., Gürel, E., Özcan, S., Bitki Biyoteknolojisi Vol 1 "Doku Kültürü Uygulamaları. S.S.Ü. Vakfı Yayınları, ISBN: 975-6652- 04-7, 2001.

Gürel, A., Hayta, Ş., Nartop, P., Bayraktar, M., Fedakar S. O. Bitki Hücre, Doku ve Organ Kültürü Uygulamaları. Ege Üniversitesi Yayınları Yayın No: 58, 2013.

Kocaçalışkan, İ., Doku ve Hücre Kültürü Teknikleri. Nobel Yayın Dağıtım, 156 s., Ankara, 2023.

Haberlandt, G. Culturversuehe mit Isolierten Pflanzenzellen. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien Math. Nat. 111, 69–92, 1902.

Skoog, F., Miller, C. O. Chemical Regulation of Growth and Organ Formation in Plant Tissues Cultured *in vitro*. Symposia of the Society for Experimental Biology, 11, 118–130, 1957.

Preil, W. Micropropagation of Ornamental Plants. In: Laimer, M., Rucker, W. (eds) Plant Tissue Culture. Springer, Vienna, 2003.

Morel, G.M. Producing Virus-free Cymbidiums. Amer. Orchid Soc. Bull. 29, 495–497, 1960.

Rout, G. R., Mohapatra, A., Jain, S. M. Tissue Culture of Ornamental Pot Plant: A Critical Review on Present Scenario and Future Prospects. Biotechnology Advances, 24(6), 531-560, 2006.

Silva, B., Souza, E., Oliveira, R., Ledo, C., Souza, F., Strategies for Vegetative Propagation and Viral Cleaning of a Miniature Ornamental Pineapple Hybrid. Acta Scientiarum Biological Sciences. 43, 2021.

Xu, L., Cheng, F., Zhong, Y. Efficient Plant Regeneration via Meristematic Nodule Culture in *Paeonia ostii* 'Feng Dan'. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 149(3), 599-608, 2022.

Silva, D., Ozudogru, E., Reis, M., Lambardi, M. *In vitro* Conservation of Ornamental Plants (1). Ornamental Horticulture, 24, 28-33, 2018.

Kaviani, B., Kulus, D. Cryopreservation of Endangered Ornamental Plants and Fruit Crops from Tropical and Subtropical Regions. *Biology*, 11(6), 847, 2022.

Negahdar, N., Hashemabadi, D., Kaviani, B. *In vitro* Conservation and Cryopreservation of *Buxus sempervirens* L., A Critically Endangered Ornamental Shrub. *Russian Journal of Plant Physiology*, 68, 661-668, 2021.

González, R., Campos, E., Arteaga, S., Merino, H. K., Domínguez, J. M. *From Wild Species to Ornamental Crops: A Never-Ending Story*. In XXVII International EUCARPIA Symposium Section Ornamentals: From Nature to Culture-Breeding Ornamentals for Sustainability 1383 (pp. 1-10), 2023.

Rogo, U., Fambrini, M., Pugliesi, C. Embryo Rescue in Plant Breeding. *Plants*, 12(17), 3106, 2023.

Lewis, M., Chappell, M., Zhang, D., Maynard, R. Development of an Embryo Rescue Protocol for Butterfly Weed. *HortTechnology*, 30(1), 31-37, 2020.

Li, H., Zhong, J., Guo, Z. Y., Wang, Y. X., Lu, Y. F., Li, D. W., ... Sun, M. *Embryo Age and Culture Medium Determine the Efficacy of Embryo Rescue in Hybridizations Between *Crossostephium chinense* (L.) Makino and *Chrysanthemum* spp.* In IV Asian Horticultural Congress-AHC2023 1404, 2023.

Melnyk, C. W. Quantitative Regeneration: Skoog and Miller Revisited. *Quantitative Plant Biology*, 4, e10, 2023.

Woo, H.A., Ku, S.S., Jie, E.Y., Kim, H., Kim, H.S., Cho, H.S., Jeong, W.J., Park, U.S., Min, S.R., Kim, W.K., Efficient Plant Regeneration from Embryogenic Cell Suspension Cultures of *Euonymus alatus*. *Sci Rep* 11, 15120, 2021.

Catalano, C., Carra, A., Carimi, F., Motisi, A., Sajeve, M., Butler, A., ... & Abbate, L. Somatic Embryogenesis and Flow Cytometric Assessment of Nuclear Genetic Stability for *Sansevieria* spp.: an Approach for *in vitro* Regeneration of Ornamental Plants. *Horticulturae*, 9(2), 138, 2023.

Yan, R., Wang, C., Wang, J., Nie, R., Sun, H. High-efficiency Somatic Embryogenesis Techniques for Different Hybrids of Cut Lilies. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 143, 145-157, 2020.

Chandana, K. P., Kumar, N. H., Prithviraj, H. S., Jagannath, S. *In vitro* Cytological Studies of *Passiflora vitifolia* Kunth an Important Medicinal and Ornamental plant, 2021.

Skrzypczak, L., Wesołowska, M., Budsianowski, J. *Eustoma grandiflorum* Shinn (Texas Bluebell): Callus culture, Micropropagation, and the Production of Gentiopicroside and other Secondary Metabolites. *Medicinal and Aromatic Plants V*, 192-201, 1993.

Kocot, D., Nowak, B. & Sitek, E. Long-term Organogenic Callus Cultivation of *Ranunculus illyricus* L.: a Blueprint for Sustainable *ex situ* Conservation of the Species in Urban Greenery, *BMC Plant Biol* 24, 212, 2024.

Lantos, C., Pauk, J. *In vitro* Anther Culture for Doubled Haploid Plant Production in Spelt Wheat. *Doubled Haploid Technology: Volume 1: General Topics, Alliaceae, Cereals*, 257-266, 2021.

Maıwan, N., Yıldız, M., Salih, S., Luna, S. An Overview of Haploid and Double Haploid Production Methods in Wheat. *Black Sea Journal of Agriculture*, 5(3), 344-350, 2022.

Ferrie, A.M.R., Caswell, K.L. Isolated Microspore Culture Techniques and Recent Progress for Haploid and Doubled Haploid Plant Production. *Plant Cell Tiss Organ Cult*, 104, 301–309, 2011.

Domblides, E., Ermolaev, A., Belov, S., Kan, L., Skaptsov, M., Domblides, A. Efficient Methods for Evaluation on Ploidy Level of *Cucurbita pepo* L. Regenerant Plants Obtained in Unpollinated Ovule Culture In Vitro, *Horticulturae*, 8(11), 1083, 2022.

Li, F., Cheng, Y., Zhao, X. Yu, R., Li, H., Wang, L., Shenchong, L., Shan, Q., Haploid induction via unpollinated ovule culture in *Gerbera hybrida*. *Sci Rep* 10, 1702, 2020.

Mehbub, H., Akter, A., Akter, M. A., Mandal, M. S. H., Hoque, M. A., Tuleja, M., Mehraj, H. Tissue Culture in Ornamentals: Cultivation Factors, Propagation Techniques, and Its Application. *Plants*, 11(23), 3208, 2022.

Tu, L., Subburaj, S., Lee, K., Jeon, Y., Yan, F., Yao, J., Kim, Y. S., Koo, O. J., Lee, G. J. Optimized Regeneration of Petunia Protoplast and Its Association with Tissue Identity Regulators. *Horticulturae*, 9(2), 216, 2023.

Kang, H., Naing, A.H., Park, S.K., Chung, M.Y., Kim, C.K., Protoplast Isolation and Transient Gene Expression in Different Petunia Cultivars. *Protoplasma* 260, 271–280, 2023.

AL 7075-T6 ALAŞIMININ TORNALAMA İŞLEMİNDE KESME AÇILARININ GÜÇ VE ÖZGÜL ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİSİ

THE EFFECT OF CUTTING ANGLES ON POWER AND SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION IN TURNING AL 7075-T6 ALLOY

Dr. Öğr. Üyesi Kutay AYDIN

Amasya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Amasya/Türkiye
kutay.aydin@amasya.edu.tr - ORCID: 0000-0003-3614-4877

Prof. Dr. Levent UĞUR

Amasya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Amasya/Türkiye
leventozge@gmail.com - ORCID: 0000-0003-3447-3191

ÖZET

Al7075-T6, yüksek mukavemet ve sertlik değerleriyle öne çıkan, havacılık ve savunma sanayisinde yaygın olarak kullanılan bir alüminyum alaşımıdır. Yüksek dayanıklılığı ve mükemmel mekanik özellikleri sayesinde yapısal parçalarda tercih edilen bu alaşım, aynı zamanda işlenebilirlik açısından zorluklar barındırmaktadır. Bu bağlamda, kesme sırasında kullanılan takım geometrisinin optimize edilmesi hem enerji tüketiminin azaltılması hem de işleme performansının artırılması açısından kritik öneme sahiptir. Kesme açılarının, özellikle talaş açısı, eğiklik açısı ve ayar açısının, kesme gücü ve özgül kesme enerjisi üzerindeki etkileri bu çalışmanın temelini oluşturmuştur. Enerji tüketiminin, üretim verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından kritik olduğu göz önüne alındığında, bu parametrelerin optimizasyonu büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, Al7075-T6 alaşımının tornalama işleminde kesme parametreleri sabit tutulmuş (kesme hızı 100m/dk, ilerleme 0,1mm/dev, kesme derinliği 0,75mm) ve kaplamasız karbür takımlar kullanılarak talaş açısı, eğiklik açısı ve ayar açısının etkileri incelenmiştir. Çalışmamızda Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) ve Yapay Sinir Ağı (ANN) modelleriyle analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kesme gücü talaş açısı için 5° (331,64W), eğiklik açısı için 0° (339,97W) ve ayar açısı için 30° (320,45W) olduğunda minimum seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. Özgül kesme enerjisi açısından ise en düşük değerler sırasıyla talaş açısı için 5° (2,665J/mm³), eğiklik açısı için 0° (2,735J/mm³) ve ayar açısı için 15° (2,580J/mm³) olarak belirlenmiştir. FEM ve ANN analizleri, deney sonuçlarıyla büyük ölçüde uyum göstermiştir. Sonuç olarak, bu çalışma kesme açılarının enerji tüketimi üzerindeki etkisini kapsamlı bir şekilde ortaya koymakta ve takım geometrisinin optimizasyonu için önemli bulgular sunmaktadır. Bu tür çalışmalar, enerji verimliliğini artırma ve maliyetleri azaltma açısından endüstriyel uygulamalara önemli katkılar sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Tornalama, Al 7075-T6, Kesme gücü, Özgül enerji tüketimi

ABSTRACT

Al7075-T6 is an aluminum alloy that stands out with its high strength and hardness values and is widely used in the aerospace and defense industry. This alloy, which is preferred for structural parts thanks to its high strength and excellent mechanical properties, also poses machinability challenges. In this context, optimizing the tool geometry used during cutting is critical for both reducing energy consumption and improving machining performance. The effects of cutting angles, especially side-rake-angle, back-rake-angle and lead-angle, on cutting power and specific cutting energy are the basis of this study. Considering that energy consumption is critical for production efficiency and sustainability, optimization of these parameters is of great importance. Therefore, in this study, the effects of side-rake-angle, back-rake-angle and lead-angle were investigated in the turning of Al7075-T6 alloy using uncoated carbide tools with constant cutting parameters (cutting speed 100m/min, feed 0.1mm/rev, depth-of-cut 0.75mm). In our study, Finite Element Method(FEM) and Artificial Neural Network(ANN) models were used. According to the results obtained, it was found that the cutting power reached the minimum level when the side-rake-angle was 5° (331.64W), the back-rake-angle was 0° (339.97W) and the lead-angle was 30° (320.45W). In terms of specific cutting energy, the lowest values were determined as 5° for side-rake-angle (2,665J/mm³), 0° for back-rake-angle (2,735J/mm³) and 15° for lead-angle (2,580J/mm³). The FEM and ANN analyses showed good agreement with the experimental results. In conclusion, this study comprehensively demonstrates the effect of cutting angles on energy consumption and provides important findings for optimization of tool geometry. Such studies can make significant contributions to industrial applications in terms of improving energy efficiency and reducing costs.

Key Words: Turning, Al 7075-T6, Cutting power, Specific energy consumption

1. GİRİŞ

Alüminyum alaşımları, hafiflik, dayanıklılık ve mükemmel işlenebilirlik özellikleriyle havacılık, otomotiv ve savunma sanayii gibi kritik endüstrilerde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu alaşımlar arasında yer alan Al 7075-T6, yüksek mukavemet, korozyon direnci ve üstün mekanik özellikleri sayesinde özellikle yapısal bileşenlerin üretiminde tercih edilmektedir [1]. Ancak, bu üstün özellikler aynı zamanda işleme sırasında yüksek kesme kuvvetleri, sıcaklık oluşumu ve takım aşınması gibi zorlukları beraberinde getirir [2]. Dolayısıyla, Al 7075-T6'nın işlenmesi sırasında kesme parametrelerinin optimize edilmesi, enerji tüketimini azaltmak ve işleme verimliliğini artırmak için önemli bir hale gelmiştir.

Kesme işlemleri sırasında takım geometrisinin uygun şekilde optimize edilmesi, enerji tüketimini azaltmak, yüzey kalitesini iyileştirmek ve takım ömrünü uzatmak için kritik bir faktördür. Talaş açısı, eğiklik açısı ve ayar açısı gibi kesme açılarının doğru ayarlanması, işleme sürecinde enerji verimliliğini doğrudan etkiler. Literatürde yapılan araştırmalar, bu açılar üzerinde yapılan iyileştirmelerin işleme performansını önemli ölçüde artırdığını göstermiştir [3]. Ayrıca, çevre dostu işleme stratejileri, özellikle minimum yağlama (MQL) ve kuru kesme yöntemleri, enerji verimliliği üzerinde olumlu etkiler yaratmıştır [2].

Son yıllarda, geleneksel deneysel yöntemlerin yanı sıra Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) ve Yapay Sinir Ağı (ANN) gibi hesaplamalı yöntemler, işleme parametrelerinin ve takım

geometrisinin optimize edilmesinde giderek daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [4-6]. FEM, kesme işlemi sırasında oluşan mekanik ve termal etkileri detaylı bir şekilde analiz ederek kesme kuvvetlerini ve sıcaklık dağılımını tahmin etmede yüksek doğruluk sağlamaktadır [7]. Diğer yandan, ANN, kesme kuvvetleri, enerji tüketimi ve yüzey kalitesi gibi çıktılarının tahmin edilmesi ve optimize edilmesi için güçlü bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Özellikle ANN tabanlı yaklaşımlar, işleme sırasında enerji tüketimini %10-20 oranında azaltmak için etkili parametre kombinasyonlarını belirleyebilir [8].

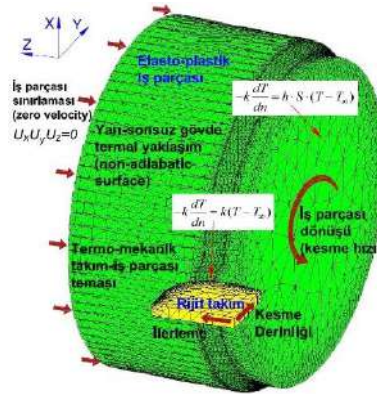
FEM ve ANN'nin birlikte kullanımı, özellikle enerji tüketimini ve işleme verimliliğini optimize etmek için etkili bir yöntemdir. FEM, fiziksel kesme olaylarını detaylı bir şekilde modelleyerek, takım geometrisinin performans üzerindeki etkilerini anlamayı sağlar. ANN ise bu verileri kullanarak, enerji tüketimi ve yüzey kalitesi gibi parametrelerin tahmini ve optimizasyonu için güçlü bir araç sunar [9]. Bununla birlikte, bu hesaplamalı yöntemler, deneysel süreçlerin maliyetini azaltarak üretim sürecinde önemli bir maliyet avantajı sağlamaktadır [1].

Bu çalışmada, Al 7075-T6 alaşımının tornalama işleminde talaş açısı, eğiklik açısı ve ayar açısının kesme gücü ve özgül enerji tüketimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kaplamasız karbür takımlar kullanılarak sabit kesme parametreleri (kesme hızı 100 m/dk, ilerleme 0,1 mm/dev, kesme derinliği 0,75 mm) altında gerçekleştirilen bu analizler, FEM ve ANN modelleriyle desteklenmiştir. Çalışma, işleme sırasında enerji tüketimini minimize etmek ve yüzey kalitesini optimize etmek için optimal kesme açılarını belirlemeyi hedeflemektedir.

2. YÖNTEM

2.1. Sonlu Elemanlar Metodu

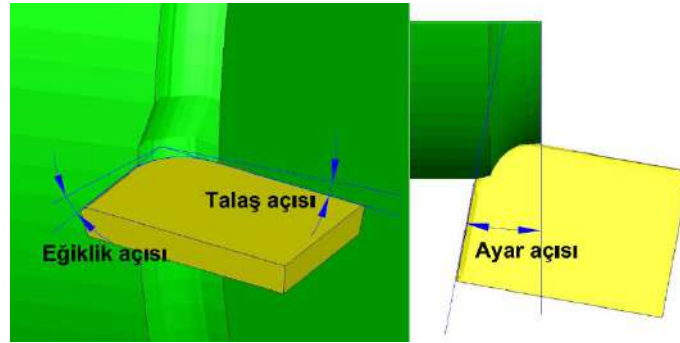
Sonlu eleman analizleri (FEM) Third Wave Advantedge® yazılımı ile sürdürülmüştür. Bu sonlu eleman yazılımı, iki ve üç boyutlu talaş kaldırma operasyonları tasarlanmış bir programdır. Ayrıca bu yazılım, iterasyon sürecinde updated-Lagrangian metodu ve yeniden mesh yapısı oluşturma teknikleri kullanır. Tornalama simülasyonları üç boyutlu olarak yapılmıştır. FEM simülasyonlarında doğru çözüme ulaşmak için mesh yapısı oldukça önemlidir. İş malzemesi ve kesici takımın mesh yapısında, 4 nokta, 12 serbestlik dereceli (dof) tetrahedral sonlu elemanlar kullanılmıştır. Maksimum düğüm sayısı 24000 olarak belirlenmiştir. İş malzemesi ve kesici takım başlangıç ve sınır şartları Görsel 1’de verilmiştir.



Görsel 1. FEM modeli sınır şartları ve mesh yapısı

Çalışmada iş malzemesi olarak havacılık alaşımı olan 7000 serisi alüminyum alaşımı Al 7075-T6 kullanılmıştır. Kesici takım malzemesi olarak CPGA-120404 ISO kodlu kaplamasız karbür

tornalama uçları kullanılmıştır. Tornalama uçlarının geometrik parametreleri, 80° köşe açılı baklava profil (C), 11° boşluk açısı (P), 0,4 mm burun yarıçapı ve 0,04 mm kesici kenar yuvarlama yarıçapı olarak seçilmiştir. Çalışmada kesme parametreleri sabit tutulmuş ve literatürdeki çalışmalar incelenerek kesme hızı 100 m/dk, ilerleme 0,1 mm/dev ve kesme derinliği 0,75 mm olarak belirlenmiştir [10,11]. Talaş kaldırma sürecinde kesme sıvısı tanımlanmamış olup kuru kesme işlemi yapılmıştır. İşleme parametreleri olarak farklı tornalama kesme açıları kullanılmıştır. Talaş açısı, Eğiklik açısı ve Ayar açısı olarak üç faktör belirlenmiştir (Görsel 2). Her bir faktör için üç seviye seçilerek tam faktöriyel deney düzeni oluşturulmuştur. Çıktı olarak kesme güçleri ve özgül kesme enerjileri değerlendirilmiştir (Çizelge 1).



Görsel 2. Tornalama sürecinde kesme açıları

Çizelge 1. Sonlu eleman ve yapay sinir ağı analizlerinde kullanılan işleme parametreleri

Seviye	Faktör		
	Talaş açısı	Eğiklik açısı	Ayar açısı
1 (FEM)	-5	-5	0
2 (ANN)	-2,5	-2,5	15
3 (FEM)	0	0	30
4 (ANN)	2,5	2,5	45
5 (FEM)	5	5	60
Çıktı	Kesme gücü (W)		
	Özgül kesme enerjisi (J/mm ³)		

Talaş kaldırma simülasyonlarında gerçekleşen dinamik gerilim değişimleri, yüksek plastik deformasyon ve ısı üretimi sebebiyle seçilen malzeme modeli çözüm doğruluğu açısından son derece önemlidir. Simülasyonlarda malzeme modeli olarak, metaller ve sünek malzemeler için kullanılması uygun olan Johnson-Cook malzeme modeli (Eşitlik 1) kullanılmıştır. Talaş formları ile ilgili bir değerlendirme yapılmayacağı için hasar modeli uygulanmamıştır. Sürtünme modeli olarak Coulomb sürtünme modeli tanımlanmıştır (Eşitlik 2). Alüminyum alaşım ve Tungsten karbür malzeme arasındaki sürtünme katsayısı, literatürdeki çalışmalar incelenerek 0,3 olarak belirlenmiştir [12]. Al 7075-T6 alaşımı için malzeme mekanik özellikleri Çizelge 2’de ve Johnson-Cook model parametreleri ise Çizelge 3’te verilmiştir.

$$\sigma = \underbrace{[A + B\varepsilon^n]}_{\text{Elasto-Plastik}} \underbrace{\left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)\right]}_{\text{Viskozite}} \underbrace{\left[1 - \left(\frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}}\right)^m\right]}_{\text{Termal Yumuşama}} \quad (1)$$

Burada σ akış gerilimi, ε gerinim, $\dot{\varepsilon}$ gerinim oranı ve $\dot{\varepsilon}_0$ referans gerinim oranını ifade etmektedir. T , T_{melt} ve T_{room} sembolleri sırasıyla kesme sıcaklığı, iş malzemesinin erime sıcaklığı ve ortam sıcaklığını göstermektedir. A akma dayanımı, B pekleşme modülü, n pekleşme katsayısı, C gerinim oranı bağımlılık katsayısı ve m termal yumuşama katsayısı olarak ifade edilmektedir.

$$F_f = \mu F_n \quad (2)$$

Burada F_f sürtünme kuvveti, μ sürtünme katsayısı ve F_n normal kuvvet olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 2. Al 7075-T6 alaşımın fiziksel ve mekanik özellikleri

Özellik	Değer
Termal iletkenlik (W/mK)	41,7
Özgül ısı (J/kgK)	361
Yoğunluk (kg/m ³)	7850
Termal genleşme katsayısı (1/°C)	1,19E-5
Young modülü (GPa)	200
Poisson oranı	0,3

Çizelge 3. Al 7075-T6 alaşımın Johnson Cook malzeme model parametreleri [13]

A (MPa)	B (MPa)	n	T_{melt} (°C)	T_{room} (°C)	m	C	$\dot{\varepsilon}_0$ (1/s)
598	768	0,2092	1416	20	0,807	0,0137	1

2.1. Yapay Sinir Ağı Metodu

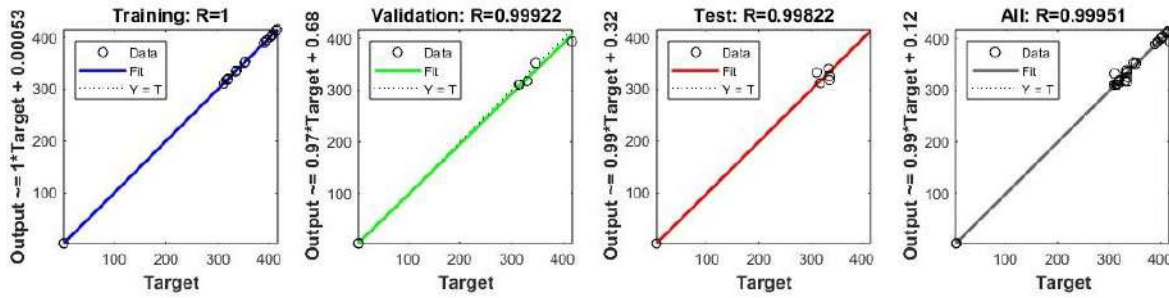
Yapay sinir ağı analizleri (ANN) MATLAB® yazılımı ile yapılmıştır. ANN modeli 3 girdi, 2 çıktı, 1 gizli katman ve 10 nöron sayısı ile 3-10-2 yapısında kurulmuştur. Tüm ANN parametreleri Çizelge 4’te verilmiştir. Eğitim, test ve doğrulama verileri sırasıyla %60, %20 ve %20 oranlarıyla “dividerand” fonksiyonu ile ayrıştırılmıştır. Optimum ANN parametrelerinin belirlenebilmesi için farklı transfer fonksiyonları, öğrenme algoritmaları ve nöron sayıları ile ANN model denemeleri yapılmıştır. Performans kriteri olarak regresyon katsayıları (R) ve en iyi doğrulama değeri için hataların karelerinin ortalaması (MSE) değerleri kullanılmıştır. Sonuç olarak en yüksek performans “trainbr” öğrenme algoritması ve “tansig” transfer fonksiyonu (Eşitlik 3) ile elde edilmiştir. Bayesian regularization (trainbr) algoritması, diğer öğrenme algoritmalarına göre daha uzun çözüm süresi gerektirmesine rağmen küçük, karmaşık ve gürültülü çözüm kümeleri için yüksek doğrulukta bir çözümleme üretir [14]. Çalışma için kurulan ANN modelinin Regresyon katsayıları Görsel 3’te ve en iyi doğrulama hata değeri Görsel 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. ANN model parametreleri

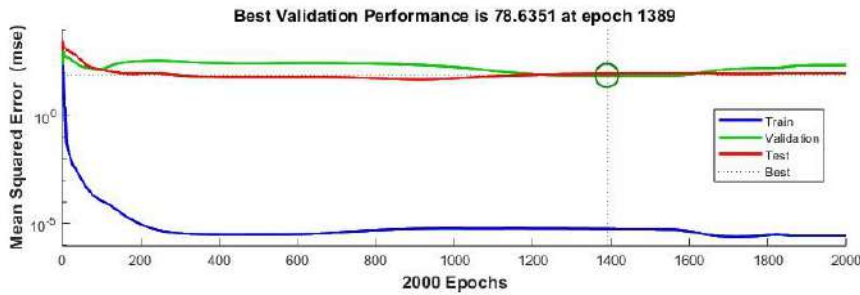
Parametre	Değer
Gizli katman sayısı	1
Nöron sayısı	10
Maksimum iterasyon sayısı	2000
Öğrenme oranı (lr)	0,000005
Eğitim veri oranı (rastgele)	60%
Doğrulama veri oranı (rastgele)	20%
Test veri oranı (rastgele)	20%
Öğrenme algoritması	trainbr (bayesian regularization)
Transfer fonksiyonu	tansig (tangent sigmoid)
Öğrenme kuralı	Geri yayılım

$$f(N) = \tanh(N) = \frac{2}{1 + e^{-2N}} - 1 \quad (3)$$

Burada $f(N)$ hiperbolik tanjant sigmoid transfer fonksiyonudur.



Görsel 3. ANN modelinin eğitim, doğrulama ve test regresyon katsayıları



Görsel 4. ANN modelinin en iyi doğrulama performansı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın ilk aşamasında üçer seviyeye sahip farklı kesme açıları kullanılarak (talaş açısı, eğiklik açısı ve ayar açısı) tam faktöriyel düzende 27 adet sonlu eleman simülasyonu (FEM) yapılmıştır. FEM simülasyonları ile kesme güçleri elde edilmiştir. Talaş kaldırma sürecindeki talaş kaldırma oranları (MRR) ve kesme gücü sonuçları ile özgül kesme enerjileri hesaplanmıştır. Talaş kaldırma sürecinde, kesme hızı (v), ilerleme (f) ve kesme derinliği (ap) parametreleri sabit tutulduğu için MRR değerleri tüm tornalama işlemleri için sabit ve 125 mm³/s olarak hesaplanmıştır (Eşitlik 4). Kesme gücü ve MRR değerleri ile özgül enerji

tüketiminin (SEC) elde edilmesi Eşitlik 5’te ifade edilmiştir. Kesme güçleri ve özgül enerji tüketim miktarları ile yapay sinir ağı (ANN) modeli eğitilmiştir (eğitim verileri). Daha sonra her bir bağımsız faktöre ikişer seviye daha eklenerek (Çizelge 1). ANN tahminleri (test verileri) yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile kesme açılarının, kesme güçleri ve özgül kesme enerjileri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

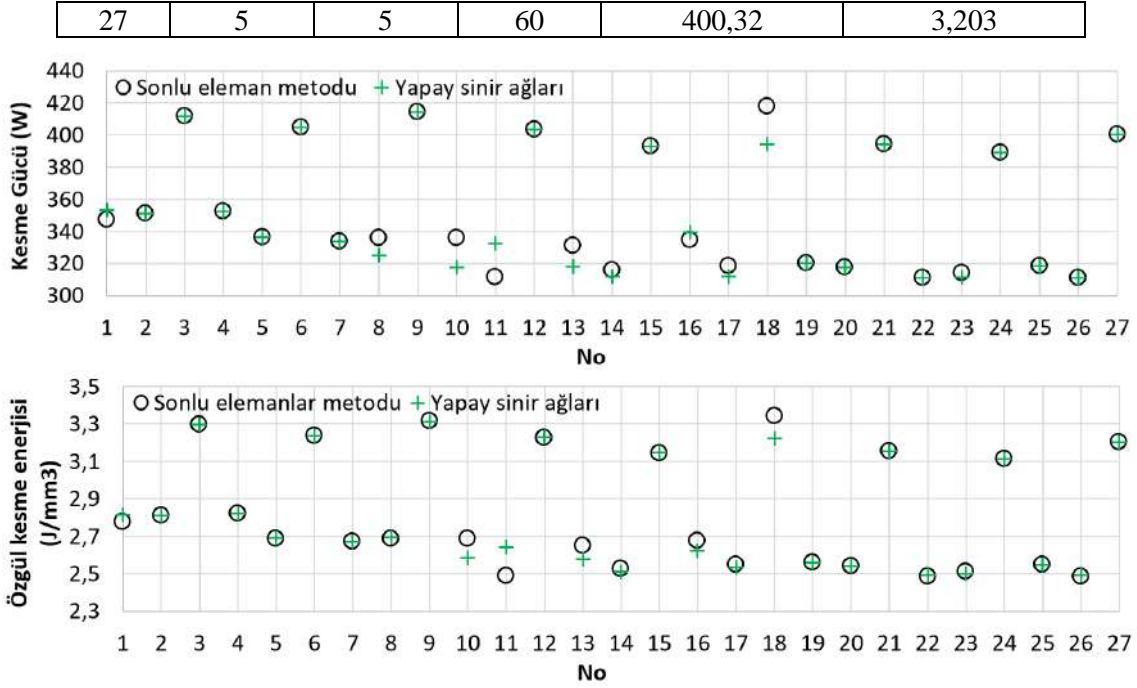
$$MRR = \frac{v \cdot f \cdot ap \cdot 1000}{60} \text{ (mm}^3 / \text{s)} \quad (4)$$

$$SEC = \frac{P_{kesme}}{MRR} \text{ (J / mm}^3\text{)} \quad (5)$$

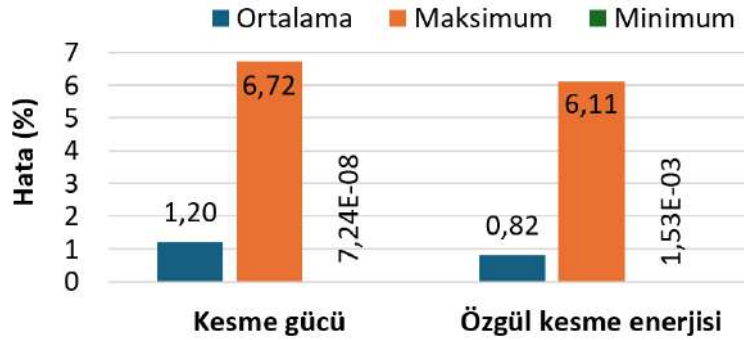
Tam faktöriyel düzendeki FEM simülasyon sonuçları Çizelge 5’te verilmiştir. FEM sonuçları ile ANN modelinin eğitim verilerinin karşılaştırılması Görsel 5’te verilmiştir. Grafiklerde, FEM analizleri siyah çemberler ve ANN eğitimleri ise yeşil artı sembolleri ile gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde kurulan ANN modelinin tutarlı olduğu ve FEM simülasyonları ile yüksek oranda uyduğu anlaşılmaktadır. Buna destek olması açısından yüzdesel hata oranları Görsel 6’da verilmiştir. Ortalama hata oranları, kesme gücü için %1,2 ve özgül enerji tüketimi için %0,82 olarak oldukça düşük seviyededir.

Çizelge 5. FEM simülasyon sonuçları

No	Talaş açısı	Eğiklik açısı	Ayar açısı	Kesme gücü (W)	Özgül kesme enerjisi (J/mm ³)
1	-5	-5	0	347,15	2,777
2	-5	-5	30	351,16	2,809
3	-5	-5	60	411,89	3,295
4	-5	0	0	352,55	2,820
5	-5	0	30	336,05	2,688
6	-5	0	60	404,72	3,238
7	-5	5	0	333,84	2,671
8	-5	5	30	335,75	2,686
9	-5	5	60	414,48	3,316
10	0	-5	0	335,65	2,685
11	0	-5	30	311,21	2,490
12	0	-5	60	403,36	3,227
13	0	0	0	331,21	2,650
14	0	0	30	315,79	2,526
15	0	0	60	393,11	3,145
16	0	5	0	334,43	2,675
17	0	5	30	318,45	2,548
18	0	5	60	417,79	3,342
19	5	-5	0	320,07	2,561
20	5	-5	30	317,61	2,541
21	5	-5	60	394,24	3,154
22	5	0	0	310,81	2,486
23	5	0	30	314,05	2,512
24	5	0	60	389,25	3,114
25	5	5	0	318,52	2,548
26	5	5	30	310,77	2,486



Görsel 5. FEM simülasyonları ve ANN eğitim verilerinin karşılaştırılması



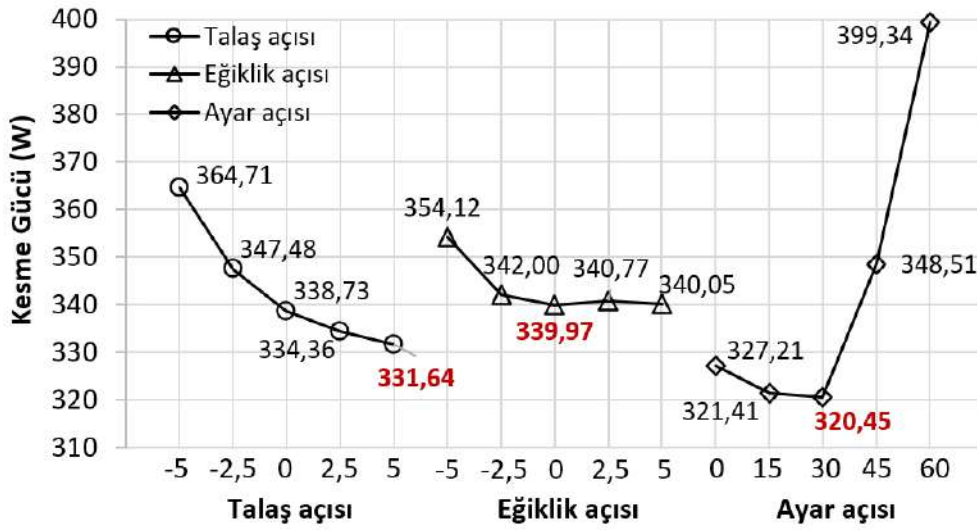
Görsel 6. FEM simülasyonları ve ANN eğitim verileri arasındaki yüzdesel hata oranları

Üç bağımsız faktör ve beş seviye ile tam faktöriyel (125 adet) düzendeki test veri seti ile ANN tahmini yapılmıştır. Tahmin sonucunda kesme açılarının, kesme gücü ve özgül enerji tüketimi üzerindeki etkisini anlamak için etki grafikleri (Görsel 7 ve 8) ve en etkili parametreleri göstermek için %95 güven seviyesi ile varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır (Çizelge 6 ve 7). MRR değerlerinin sabit olması sebebiyle etki grafikleri benzer görünmektedir.

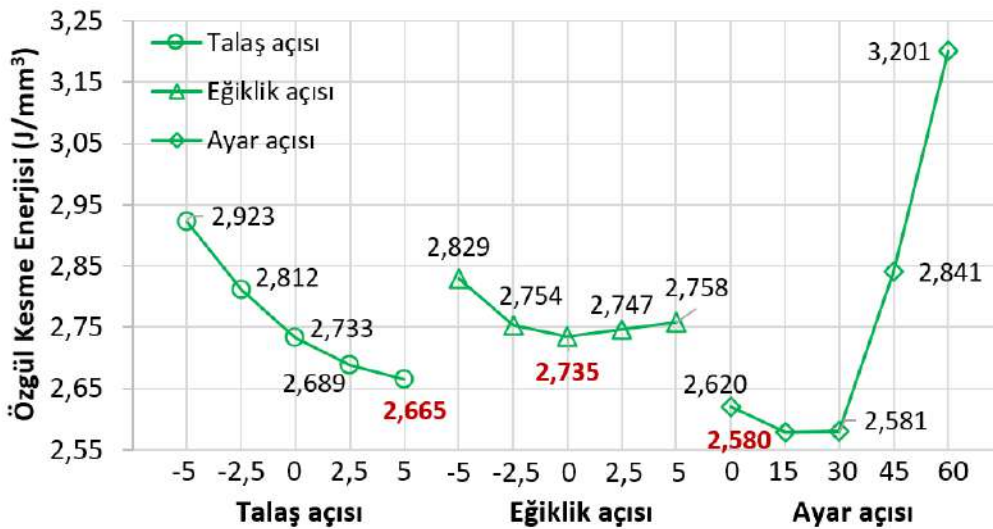
Talaş açısı değişiminin etkileri incelendiğinde, talaş açısı artışı ile kesme gücü ve özgül enerji tüketiminin belirgin şekilde azaldığı görülmektedir. Talaş açısı azalınca, kesici takımın batma açısı küçülür ve takımın keskinlik derecesi artar. Bu durum kayma düzlem açısını artırır ve takım talaş temas alanı düşürür. Böylece takıma binen talaş yükü azalmış olur. Azalan talaş yükü ile kesme kuvvetleri ve kesme gücünün azalması beklenir [15-17]. Kesme gücü ile birlikte özgül enerji tüketimi de azalmıştır. En düşük kesme gücü ve özgül enerji tüketimleri 5° talaş açısında elde edilmiştir. Eğiklik açısı değişiminin etkileri incelendiğinde, eğiklik açısı değişiminin kesme gücü ve özgül enerji tüketimi üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Kesme gücü ve özgül enerji tüketimi, sadece -5° eğiklik açısında yüksek çıkmakla birlikte diğer açılarda birbirine oldukça yakın değerler gözlenmiştir. En düşük kesme gücü ve özgül enerji

tüketimleri 0° eğiklik açısında elde edilmiştir. Ayar açısı değişiminin etkileri incelendiğinde, ayar açısının artışı ile kesme gücü ve özgül enerji tüketimlerinin önce azaldığı daha sonra belirgin şekilde arttığı gözlenmiştir [18]. 30° ve üzeri ayar açısı ile kesme gücü ve özgül enerji tüketimlerini hızla arttığı görülmektedir. En düşük kesme gücü 30° ayar açısında ve en düşük özgül enerji tüketimi 15° ayar açısında elde edilmiştir.

ANOVA sonuçları değerlendirildiğinde, kesme gücü üzerindeki en etkili parametre %76,19 oranla ayar açısı ve %12,26 oranla talaş açısı olduğu gözlenmiştir. Özgül enerji tüketim değerleri üzerindeki en etkili parametre ise %80,92 oranla ayar açısı ve %12,46 oranla talaş açısı olduğu anlaşılmıştır.



Görsel 7. Kesme açılarının kesme gücü üzerindeki etki grafiği



Görsel 8. Kesme açılarının özgül enerji tüketimi üzerindeki etki grafiği

Çizelge 6. Kesme açılarının kesme gücü üzerindeki etkisi için ANOVA sonuçları

Kaynak	DF	SS	MS	F Değeri	P Değeri	Katkı %	Yorum
Model	60	142789	2379,8	60,95	0,000	98,28	Anlamlı
Lineer	12	132171	11014,3	282,08	0,000	90,97	Anlamlı
Talaş açısı	4	17811	4452,7	114,04	0,000	12,26	Anlamlı
Eğiklik açısı	4	3668	917,1	23,49	0,000	2,52	Anlamlı
Ayar açısı	4	110692	27673	708,73	0,000	76,19	Anlamlı
2 Yönlü Etkileşimler	48	10618	221,2	5,67	0,000	7,31	Anlamlı
Talaş*Eğiklik	16	382	23,9	0,61	0,864	0,26	Anlamsız
Talaş*Ayar	16	6252	390,8	10,01	0,000	4,30	Anlamlı
Eğiklik*Ayar	16	3984	249	6,38	0,000	2,74	Anlamlı
Hata	64	2499	39				
Toplam	124	145288					
Model Özeti							
S= 6,24868				R ² (adjusted)= %96,67			
R ² = %98,28				R ² (predicted)= %93,44			

Çizelge 7. Kesme açılarının özgül kesme enerjisi üzerindeki etkisi için ANOVA sonuçları

Kaynak	DF	SS	MS	F Değeri	P Değeri	Katkı %	Yorum
Model	60	8,72932	0,14549	129,74	0,000	99,18	Anlamlı
Lineer	12	8,35517	0,69626	620,90	0,000	94,93	Anlamlı
Talaş açısı	4	1,09634	0,27408	244,42	0,000	12,46	Anlamlı
Eğiklik açısı	4	0,13722	0,03431	30,59	0,000	1,56	Anlamlı
Ayar açısı	4	7,12161	1,7804	1587,70	0,000	80,92	Anlamlı
2 Yönlü Etkileşimler	48	0,37415	0,00779	6,95	0,000	4,25	Anlamlı
Talaş*Eğiklik	16	0,01212	0,00076	0,68	0,807	0,14	Anlamsız
Talaş*Ayar	16	0,2772	0,01733	15,45	0,000	3,15	Anlamlı
Eğiklik*Ayar	16	0,08483	0,0053	4,73	0,000	0,96	Anlamlı
Hata	64	0,07177	0,00112				
Toplam	124	8,80109					
Model Özeti							
S= 0,0334869				R ² (adjusted)= %98,42			
R ² = %99,18				R ² (predicted)= %96,89			

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Al 7075-T6 alaşımının farklı kesme açıları ile tornalama sürecinde kesme güçleri ve özgül enerji tüketimleri incelenmiştir. Bu kapsamda üç boyutlu FEM analizleriyle kesme güçleri elde edilip özgül enerji tüketim değerleri hesaplanmış ve sonrasında ANN modellemesi ile optimum kesme açıları belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular ışığında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- FEM simülasyonları ve ANN modellemesi karşılaştırıldığında, kesme gücü için ortalama %1,2 hata oranı ve özgül enerji tüketimi için ise ortalama %0,82 hata oranı ile sonuçların birbirleri ile yüksek seviyede uyduğu görülmüştür.
- Kesme gücü sonuçları değerlendirildiğinde, 5° talaş açısı, 0° eğiklik açısı ve 30° ayar açısında en düşük kesme gücü elde edilmiştir.
- Özgül enerji tüketimi sonuçları değerlendirildiğinde, 5° talaş açısı, 0° eğiklik açısı ve 15° ayar açısında en düşük özgül enerji tüketimine ulaşılmıştır.
- ANOVA sonuçları değerlendirildiğinde, kesme gücü ve özgül enerji tüketimi üzerindeki etkin parametrenin sırasıyla %76,19 oranla ve %80,92 oranla ayar açısı olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKÇA

1. Ng CK, Melkote SN, Rahman M, and Kumar AS, Experimental study of micro-and nano-scale cutting of aluminum 7075-T6. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(9):929-936, 2006.
2. Singh J, and Singh Gill S, Turning of Al 7075-T6 aerospace alloy under different sustainable metalworking fluid strategies by coated carbide tools. *Surface Engineering*, 39(3):275-294, 2023.
3. Warsi SS, Agha MH, Ahmad R, Jaffery SHI, and Khan M, Sustainable turning using multi-objective optimization: a study of Al 6061 T6 at high cutting speeds. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100:843-855, 2019.
4. Aydın K, Akgün A, Yavaş Ç, Gök A, and Şeker U, Experimental and numerical study of cutting force performance of wave form end mills on gray cast iron. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(12):12299-12307, 2021.
5. Korkmaz ME, and Günay M, Finite Element modeling of tool stresses in hard turning of AISI L2 steel: prediction by ANN. *Int J Mod Eng Res*, 6(2):30-40, 2016.
6. An L, Liu S, and Zhang H Study on the Influence of Machining Parameters on Surface Residual Stresses in Dry Turning Inconel718 using FEA and ANN. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Computer and Automation Engineering*, 2017. pp 341-345
7. Mohanta DK, Sahoo B, and Mohanty AM, Optimization of process parameter in AI7075 turning using grey relational, desirability function and metaheuristics. *Materials and Manufacturing Processes*, 38(12):1615-1625, 2023.
8. Santos M, Machado A, Barrozo M, Jackson M, and Ezugwu E, Multi-objective optimization of cutting conditions when turning aluminum alloys (1350-O and 7075-T6 grades) using genetic algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76:1123-1138, 2015.
9. Yazid M, and Zainol A, Environmentally friendly approaches assisted machining of aluminum alloy 7075-T6 for automotive applications: A review. *International Journal of Integrated Engineering*, 11(6):18-26, 2019.

10. Singh J, Gill SS, and Mahajan A, Experimental investigation and optimizing of turning parameters for machining of Al7075-t6 aerospace alloy for reducing the tool wear and surface roughness. *Journal of Materials Engineering and Performance*:1-12, 2023.
11. Lakshmanan M, Rajadurai JS, and Rajakarunakaran S, Machining studies of Al7075 in CNC turning using grey relational analysis. *Materials Today: Proceedings*, 39:1625-1628, 2021.
12. Mohan Kumar A, Rajasekar R, and Parameshwaran R, 2D FEM simulation and experimental verification of Al 7075-T6 during turning process. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 53(7):781-789, 2022.
13. Ahmadi SA, Davoodi B, and Niknam SA, Numerical modeling and experimental assessment of dynamic behavior of aluminum alloy 7075-T6 in machining process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*:1-19, 2024.
14. MacKay DJ, Bayesian interpolation. *Neural computation*, 4(3):415-447, 1992.
15. Duran A, and Acır A, HSS torna kalemindeki talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisi. *Politeknik dergisi*, 7(3):211-215, 2004.
16. Mavi A, and Uzun G, Dupleks 1.4462 paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin işlenebilirlik üzerine etkisi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 5(3):177-184, 2017.
17. Gürbüz H, Kafkas F, and Şeker U, AISI 316L çeliğinin işlenmesinde kesici takım kesici kenar formu ve talaş kırıcı formlarının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1(2):173-184, 2012.
18. Venkatesh V, Kattan I, Hoy D, Ye C, and Vankirk J, An analysis of cutting tools with negative side cutting edge angles. *Journal of materials processing technology*, 58(4):351-361, 1996.

PMMA LEVHANIN CO₂ LAZER İLE KESİLMESİ İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE ISIDAN ETKİLENEN BÖLGENİN DENEYSSEL VE YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMLERİYLE ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF SURFACE ROUGHNESS AND HEAT AFFECTED ZONE IN CO₂ LASER CUTTING OF PMMA SHEET BY EXPERIMENTAL AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORK METHODS

Dr. Öğr. Üyesi Kutay AYDIN

Amasya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Amasya/Türkiye
kutay.aydin@amasya.edu.tr - ORCID: 0000-0003-3614-4877

Prof. Dr. Levent UĞUR

Amasya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Amasya/Türkiye
leventozge@gmail.com - ORCID: 0000-0003-3447-3191

ÖZET

Polimetilmetakrilat (PMMA), mükemmel optik, mekanik ve biyouyumluluk özelliklerine sahip, endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulan sentetik bir termoplastik polimerdir. Otomotivden biyomedikale, elektronik cihazlardan sensörlere kadar pek çok alanda tercih edilen bu malzeme, işlenebilirliği ve dayanıklılığı ile öne çıkmaktadır. Geleneksel mekanik işleme yöntemlerinde PMMA'nın işlenmesi sırasında çapaklar, düzensiz kesim kenarları ve düşük işleme verimliliği gibi sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Bu durum, malzemenin yüzey kalitesini olumsuz etkileyerek, istenilen hassasiyetin elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu noktada, lazer işleme yöntemi, PMMA'nın işlenmesi için giderek daha fazla tercih edilmektedir. Lazer işleme, yüksek hassasiyet ve verimlilik sağlamasının yanı sıra, çevreye zarar vermemesi nedeniyle yeşil bir teknoloji olarak da dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, lazer kesimi sırasında yüzey pürüzlülüğü ve ısıdan etkilenen bölge gibi istenmeyen etkiler ortaya çıkabilmektedir. Bu problemler, malzemenin optik ve mekanik özelliklerini olumsuz etkileyebilir, dolayısıyla ürün kalitesini düşürebilir. Özellikle, ısıdan etkilenen bölge'nin genişliği ve yüzey pürüzlülüğü, lazer kesim sürecinin optimize edilmesi gereken kritik parametrelerdir. Bu çalışmada, PMMA levhaların CO₂ lazer ile kesilmesi sırasında ortaya çıkan yüzey pürüzlülüğü ve ısıdan etkilenen bölge'nin etkileri, deneysel yöntemler ve yapay sinir ağları (ANN) kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular, lazer kesim parametrelerinin optimize edilmesiyle bu olumsuz etkilerin minimize edilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Lazer kesme, Yapay sinir ağları, Yüzey pürüzlülüğü, Isıdan etkilenen bölge

ABSTRACT

Polymethylmethacrylate (PMMA) is a synthetic thermoplastic polymer with excellent optical, mechanical and biocompatibility properties and is widely used in industrial applications. This material, which is preferred in many fields from automotive to biomedical, electronic devices to sensors, stands out with its processability and durability. Traditional mechanical machining methods can cause problems such as burrs, irregular cutting edges and low machining efficiency during the machining of PMMA. This negatively affects the surface quality of the material, making it difficult to achieve the desired precision. At this point, laser processing is increasingly preferred for the processing of PMMA. In addition to providing high precision and efficiency, laser processing is also notable as a green technology due to its environmental friendliness. However, undesirable effects such as surface roughness and heat-affected zone can occur during laser cutting. These problems can negatively affect the optical and mechanical properties of the material, thus reducing product quality. In particular, the width of the heat affected zone and surface roughness are critical parameters that need to be optimized in the laser cutting process. In this study, the effects of surface roughness and heat affected zone during CO₂ laser cutting of PMMA sheets were investigated using experimental methods and artificial neural networks (ANN). The findings show that these negative effects can be minimized by optimizing the laser cutting parameters.

Key Words: Laser cutting, Artificial neural networks, Surface roughness, Heat affected zone

1. GİRİŞ

Polimetilmetakrilat (PMMA), mükemmel kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklere sahip ucuz bir sentetik termoplastik polimerdir [1,2]. Polimetilmetakrilat (PMMA), polimerik malzemeler arasında endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahip olan önemli bir materyaldir. Bu malzemenin sahip olduğu optik, mekanik ve biyouyumluluk özellikleri, onu çeşitli sektörlerde tercih edilen bir malzeme haline getirmiştir. PMMA, özellikle otomotiv sanayinde, Diş hekimliği alanında ise protez dişler, ortodontik cihazlar ve diğer dental ürünlerde, Biyomedikal alanda ise PMMA, kemik dokusu mühendisliği ve protezler gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca, sensörler, elektronik cihazlar, güneş pilleri ve fotodedektörler gibi yüksek hassasiyet ve optik netlik gerektiren teknolojik uygulamalarda da PMMA'nın geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır [3-5].

Geleneksel mekanik yöntemlerle PMMA levhaların işlenmesi sırasında sıkça karşılaşılan çapaklar, düzensiz kesme kenarları ve düşük işleme verimliliği, bu malzemenin işlenmesinde önemli zorluklar yaratmaktadır [6]. Bu tür mekanik işlemler, malzemenin yüzey kalitesini olumsuz etkileyebileceği gibi, istenilen hassasiyeti elde etmede de yetersiz kalabilir. Bunun yanı sıra, mekanik yöntemlerin enerji tüketimi yüksek olup, üretim sürecinde atık oluşumuna neden olabilir. Ancak, yeni bir işleme teknolojisi olarak lazer işleme yöntemi, bu zorlukları aşmak için ideal bir çözüm sunmaktadır [7]. Lazer işleme, yüksek hassasiyet ve verimlilikle çalışarak, çevre kirliliği yaratmadan PMMA levhaların işlenmesini mümkün kılar. Bu teknolojinin sunduğu entegre işleme ve şekillendirme kabiliyetleri, PMMA'nın endüstriyel uygulamalarda daha yaygın ve etkili bir şekilde kullanılmasını sağlar.

CO₂ lazer tabanlı mikrofabrikasyon, PMMA üzerinde mikrokanal imalatı için köklü bir teknik haline gelmiştir. Bu yöntemin en büyük avantajlarından biri, diğer mikrofabrikasyon tekniklerine kıyasla çok daha kısa sürede mikroakışkan sistemlerinin üretilebilmesidir [8]. CO₂ lazerin yüksek enerji yoğunluğu, PMMA yüzeyinde son derece hassas kesimler yapılmasına olanak tanır. Bu durum, mikrokanalların istenen geometrik hassasiyette ve minimum malzeme kaybıyla üretilmesini sağlar. Ayrıca, lazer işleminin temassız bir yöntem olması, işleme sırasında malzemenin mekanik olarak zarar görme riskini ortadan kaldırır, böylece yüksek kaliteli ve dayanıklı mikrokanallar elde edilir. Bu nedenle, CO₂ lazer kullanılarak yapılan mikrokanal imalatı, biyomedikal cihazlardan mikroakışkan laboratuvarlarına kadar geniş bir yelpazede uygulama alanı bulmaktadır [9,10].

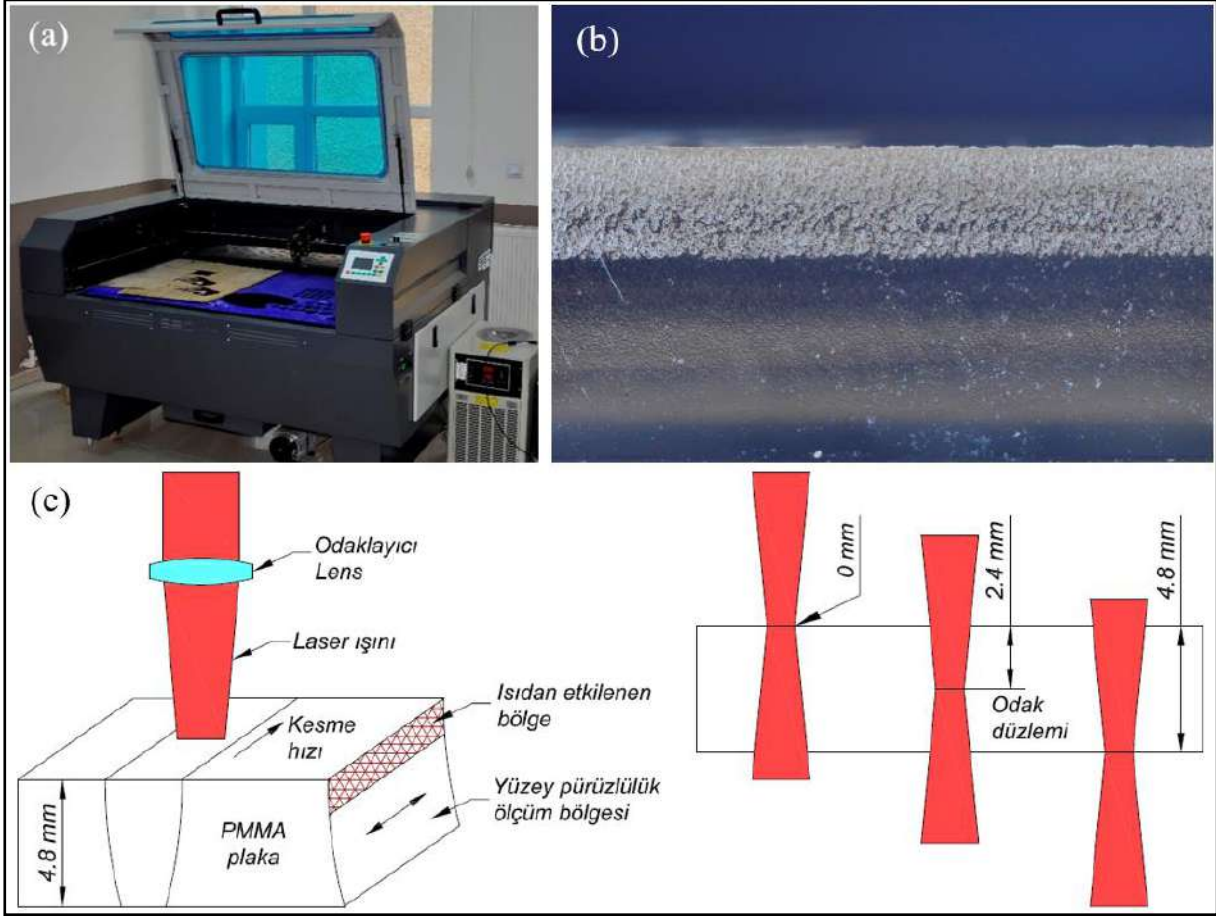
Bununla birlikte, CO₂ lazer kesimi sırasında ortaya çıkan yüzey pürüzlülüğü ve ısıdan etkilenen bölge, ürün kalitesini belirleyen en kritik faktörler arasındadır. Yüzey pürüzlülüğü, malzemenin optik özelliklerini etkileyebilirken, ısıdan etkilenen bölge, malzemenin mekanik özelliklerinde bozulmalara neden olabilir [11]. Bu sebeple, lazer kesim parametrelerinin doğru bir şekilde optimize edilmesi, bu olumsuz etkilerin minimize edilmesi açısından büyük önem taşır.

Bu çalışmada, PMMA levhaların CO₂ lazer ile kesilmesi sırasında ortaya çıkan yüzey pürüzlülüğü ve ısıdan etkilenen bölgenin etkileri deneysel yöntemler ve yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak incelenmiştir. Yüzey kalitesini iyileştirmek ve ısıdan etkilenen bölgeyi minimize etmek için 3 farklı lazer kesim parametreleri kullanılarak optimize edilmiştir. Sonuç olarak, lazer kesim süreçlerinin endüstriyel uygulamalarda daha verimli ve hassas bir şekilde kullanılmasına katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. Lazer kesme işlemi

Lazer kesme deneyleri, Seç Atik 1410 lazer işleme tezgahında yapılmıştır. Lazer işleme tezgahı, 80W gücünde CO₂ tüpü ile kesme ve markalama işlemleri yapabilmektedir. Ek olarak, 1400x1000x25mm işleme alanına ve üç eksenli CNC kontrolcüye sahiptir (Görsel 1a). Deneylerde, işleme malzemesi olarak, 4.8mm kalınlığında saydam Acrylic olarak bilinen Polymethyl Methacrylate (PMMA) levha kullanılmıştır (Görsel 1b). İşleme bölgesinde, odaklanmış lazer ışınının etrafından kompresör ile basınçlandırılmış hava gönderilerek buharlaştırılmış malzeme uzaklaştırmakta ve kesme bölgesi soğutulmaktadır (Görsel 1c). Deneylerde kesme parametreleri olarak, odak düzlemi, kesme hızı ve lazer gücü kullanılmıştır. Her kesme parametresi için üçer seviye belirlenmiş ve tam faktöriyel deney tasarımı oluşturulmuştur (Çizelge 1). Çıktı olarak, yüzey pürüzlülüğü ve ısıdan etkilenen bölge ölçümleri yapılmıştır. Deneysel çalışmaya ek olarak yapay sinir ağları (YSA) metodu kullanılarak eğitim ve tahminler yapılmıştır. YSA metodunda eğitim için deneysel çalışmadan elde edilen 27 adet tam faktöriyel tasarıma sahip girdi ve çıktı verileri kullanılmıştır. Sonrasında her bir faktöre ikişer adet ara seviye değeri daha eklenerek 125 adet tam faktöriyel girdi değerleri kullanılarak YSA ile çıktı değerleri tahmin edilmiştir.



Görsel 1. a) Lazer işleme tezgahı, b) Lazer kesme numunesi, c) Lazer kesme şeması ve ölçüm bölgeleri

Çizelge 1. Lazer kesme parametreleri

Seviyeler	Faktörler		
	Odak düzlemi, (mm)	Kesme hızı (mm/s)	Lazer gücü (W)
1 (deneysel)	0	1	56
2 (YSA)	1.2	1.5	62
3 (deneysel)	2.4	2	68
4 (YSA)	3.6	2.5	74
5 (deneysel)	4.8	3	80
Çıktı	Yüzey pürüzlülüğü (μm)		
	Isıdan etkilenen bölge (μm)		

2.1. Yapay sinir ağları (YSA) metodu

YSA analizleri MATLAB® yazılımı ile yürütülmüştür. ANN modeli, Çizelge 2’de verilen parametreler ile oluşturulmuştur. ANN modelinde, 1 gizli katman ve 5 nöron ile 1-5-2 ağ yapısı uygulanmıştır. Eğitim, doğrulama ve test (tahmin) verileri sırasıyla 60%, 20% ve 20% olarak “dividerand” fonksiyonu ile rastgele olarak ayrıştırılmıştır. Nöron sayısı, öğrenme algoritması, transfer fonksiyonu vb. parametreler açısından en iyi ANN modelini belirlemek için denemeler yapılmıştır (Çizelge 3). Performans kriterleri olarak, eğitim ve test regresyon katsayıları (R), hataların karelerinin ortalaması (MSE) değerleri, ortalama ve maksimum hata oranları (Eşitlik

1) kullanılmıştır. En iyi performans, “traingdx” öğrenme algoritması, “tansig” transfer fonksiyonu (Eşitlik 2) ve 5 nöron sayısında elde edilmiştir. Gradient descent with momentum and adaptive learning rate backpropagation (traingdx) algoritması, Traingdx algoritması, eğitim sürecinde çok hızlı ve verimliliği yüksek sonuçlar elde etmek için geliştirilmiş bir öğrenme algoritmasıdır. Bu algortmada, yüksek hafıza gereksinimi ve karmaşık matematiksel yapısı bulunsa da momentum ve adaptif öğrenme oranı kombinasyonu ile oldukça etkili ve hata oranı düşük eğitim ve tahminler yapabilmek mümkündür [12,13].

$$\text{Hata Oranı (\%)} = \left(\frac{\text{Deneysel ölçüm} - \text{YSA tahmini}}{\text{Deneysel ölçüm}} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$f(N) = \tanh(N) = \frac{2}{1 + e^{-2N}} - 1 \quad (2)$$

Buradaki $f(N)$ hiperbolik tanjant sigmoid transfer fonksiyonun ifade etmektedir.

Çizelge 2. YSA model parametreleri

Parametre	Değer
Gizli katman sayısı	1
Nöron sayısı	5
İterasyon sayısı	1000
Eğitim veri oranı (rastgele)	60%
Doğrulama veri oranı (rastgele)	20%
Test veri oranı (rastgele)	20%
Öğrenme algoritması	traingdx
Transfer fonksiyonu	tansig
Öğrenme kuralı	Geri yayılım

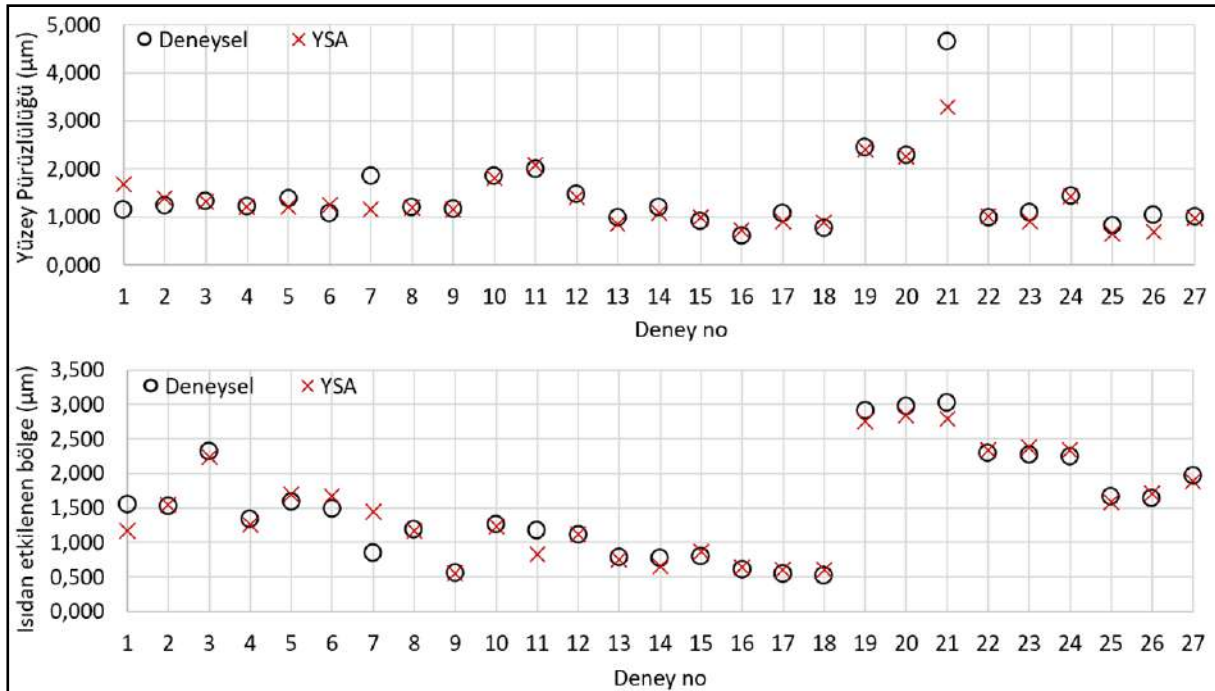
Çizelge 3. Optimum YSA parametrelerini belirlemek için kurulan YSA modelleri

Öğrenme algoritması	Nöron sayısı	Eğitim R değeri	Test R değeri	En iyi doğrulama performans MSE değeri	Yüzey pürüzlülüğü		Isıdan etkilenen bölge	
					Ortalama hata oranı (%)	Maksimum hata oranı (%),	Ortalama hata oranı (%)	Maksimum hata oranı (%)
trainbr	4	0,98908	0,71505	0,065	15,85	75,05	12,75	73,79
	5	0,98703	0,86989	0,069	14,79	93,31	10,41	36,64
	8	0,97995	0,85955	0,258	17,38	77,97	22,66	123,42
	10	0,81346	0,53833	0,237	24,97	56,09	41,47	133,79
traingdx	4	0,88891	0,83857	0,353	17,25	68,27	20,05	70,96
	5	0,99093	0,93324	0,076	12,31	46,24	9,56	69,94
	8	0,94463	0,62526	0,127	19,39	89,18	15,94	55,31
	10	0,82881	0,17843	0,387	27,83	79,21	26,19	71,53
trainoss	4	0,86396	0,25904	0,683	39,46	75,36	36,34	170,78
	5	0,99222	0,74522	0,183	20,31	125,97	11,46	43,49
	8	0,99568	0,72448	0,321	14,62	67,64	20,08	140,81
	10	0,91272	0,67808	0,145	24,58	52,15	20,44	70,43
trainr	4	0,95798	0,64993	0,296	16,91	63,54	21,83	75,79
	5	0,97375	0,36331	0,725	20,85	141,02	20,35	113,81

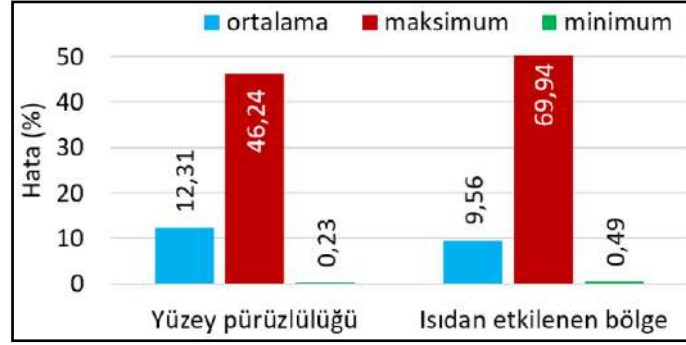
	8	0,97854	0,85941	0,446	14,44	86,05	10,26	43,39
	10	0,99865	0,75531	0,086	11,09	41,85	10,11	115,38
trainrp	4	0,96132	0,33749	0,977	19,82	69,56	18,21	59,86
	5	0,98377	0,74443	0,081	17,31	77,46	15,92	183,81
	8	0,93991	0,73448	0,103	15,64	55,01	19,57	67,83
	10	0,99953	0,60536	0,269	12,88	117,64	12,91	72,43
trainscg	4	0,95669	0,69933	1,091	17,55	66,78	10,05	43,69
	5	0,99363	0,76626	0,139	13,81	92,19	10,75	55,91
	8	0,96548	0,74141	0,098	17,86	59,29	19,09	62,42
	10	0,91293	0,40575	0,199	32,35	180,86	25,43	87,82

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Lazer kesme deneylerinden elde edilen veriler ve bu veriler sürdürülen YSA modelinin eğitim sonuçlarının karşılaştırması, Görsel 2'deki grafiklerde verilmiştir. Grafiklerin anlaşılabilirliğini kolaylaştırmak için farklı şekiller ve renklerde semboller kullanılmıştır. Grafiklerde, tam faktöriyel tasarımda yapılan her deneyin ölçüm değerleri siyah çember ve YSA sonuçları kırmızı çarpı sembolleri ile ifade edilmiştir. Grafikler incelendiğinde, deneysel ölçümler ve YSA eğitim sonuçlarının yüksek seviyede uyduğu görülmektedir. Sonuçların uyuma seviyesinin daha net ifade edilmesi için yüzdesel hatalar hesaplanmış ve Görsel 3'te gösterilmiştir. Grafikte, maksimum hatalar kırmızı tonlama, ortalama hatalar mavi tonlama ve minimum hatalar ise yeşil tonlamalı sütunlar ile gösterilmiştir. Ortalama hata oranları, yüzey pürüzlülüğü için %12,31 ve ısıdan etkilenen bölge için %9,56 olarak elde edilmiştir. Büyük hata oranları, yüzey pürüzlülüğü için 21 ve 7 nolu deneylerde, ısıdan etkilenen bölge için 7, 1 ve 11 nolu deneylerde gözlenmiştir. Diğer deneylerdeki YSA tahmin performansının yüksek olduğu anlaşılmıştır.



Görsel 2. Deneysel ölçümler ve YSA eğitim verilerinin karşılaştırılması



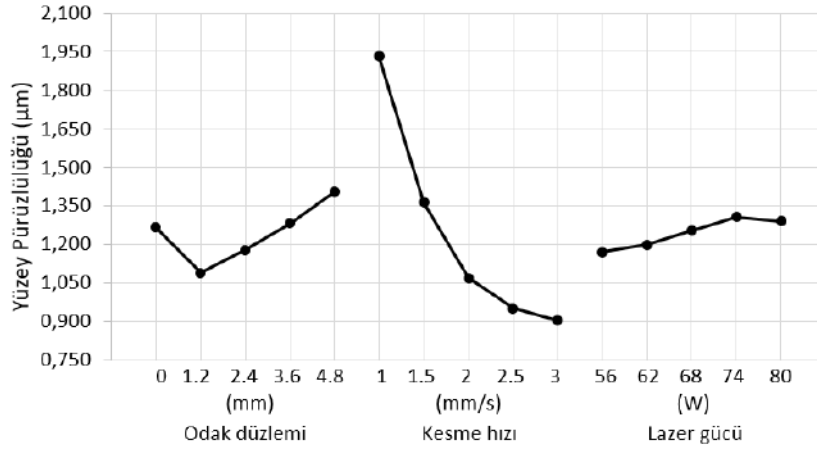
Görsel 3. Deneysel ölçümler ile YSA tahminleri arasındaki yüzdesel hata oranları

Deneysel ve eğitim verilerinde kullanılan lazer kesme parametrelerinin üçer seviyesine, ikişer adet ara değer eklenerek test veri seti oluşturulmuştur (Çizelge 1). Test veri seti, üç faktör ve beş seviye tam faktöriyel 125 run tasarıma sahiptir. Test veri seti tahminleri kullanılarak lazer kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve ısıdan etkilenen bölge üzerindeki etkilerinin anlaşılması için etki grafikleri oluşturulmuştur. Yüzey pürüzlülüğü için etki grafiği Görsel 4’te ve ısıdan etkilenen bölge için etki grafiği Görsel 5’te gösterilmiştir.

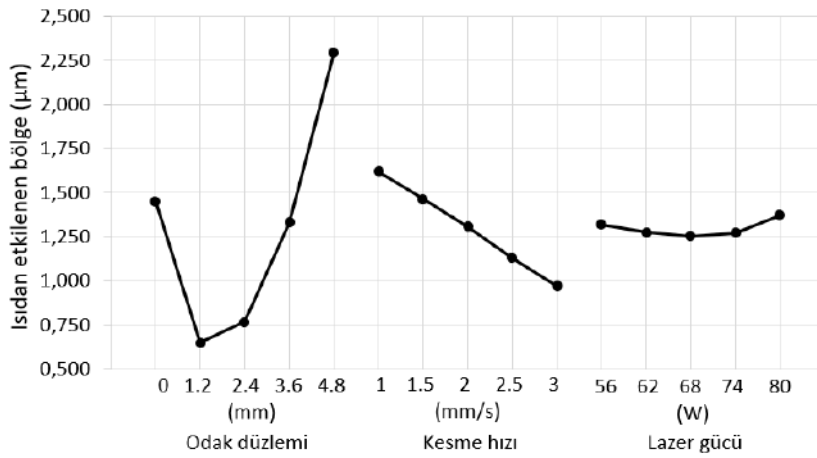
Odak düzlemi değişiminin oluşturduğu etkiler incelendiğinde, odak düzlemi artışı ile hem yüzey pürüzlülüğünde hem de ısıdan etkilenen bölgede önce azalma sonra artış eğilimi görülmektedir. Isıdan etkilenen bölgedeki değişim daha belirgindir. İş malzemesi yüzeyinde lazer ışının ilk temas ettiği nokta lazerin odak noktasına uzak olduğunda diğer bir deyişle odak düzlemi büyük olduğunda, iş malzemesi yüzeyindeki yoğunlaşan ışın enerjisi daha düşük olacağı için kesilen yüzeyin üst kısımlarında ısıl etkilenen bölgenin daha büyük olacağı sonucu çıkarılabilir. Bu sebeple odak düzlemi artışı ile ısıl etkilenen bölge artar. Buna paralel olarak ısıl etkilenen bölge altında kalan ve yüzey pürüzlülük ölçümü yapılan bölgenin de yüzey kalitesinin düşmesi beklenir. En düşük yüzey pürüzlülüğü ve ısıdan etkilenen bölge diğer bir deyişle en iyi yüzey kalitesi 1,2 mm odak düzleminde elde edilmiştir. 2,4 mm odak düzlemi ise yüzey kalitesi açısından kabul edilebilir seviyededir.

Kesme hızı değişiminin oluşturduğu etkiler incelendiğinde, kesme hızı artışı ile hem yüzey pürüzlülüğü hem de ısıdan etkilenen bölge miktarlarında belirgin azalma görülmüştür. Kesme hızı artışı ile lazer ışınının iş malzemesine temas süresi kısalmıştır. Kısılan temas süresi ile kesme yüzeyinde ısının sebep olduğu deformasyon azalmaktadır. Böylece ısıl etkilenen bölge ve yüzey pürüzlülük miktarlarının azaldığı düşünülmektedir. Benzer sonuçlar önceki çalışmalarda da görülmüştür [14,15]. En düşük yüzey pürüzlülüğü ve ısıdan etkilenen bölge 3 mm/s kesme hızında elde edilmiştir.

Lazer gücü değişiminin oluşturduğu etkiler incelendiğinde, lazer gücü değişiminin yüzey pürüzlülüğü ve ısıdan etkilenen bölge miktarları üzerindeki etkisi belirgin değildir. Lazer gücü artışı ile yüzey pürüzlülüğünde bir miktar artış, ısıdan etkilenen bölgede ise önce bir miktar azalma ve sonrasında artış görülmüştür. Yüzey kalitesi açısından en uygun kesme operasyonu düşük lazer güçlerinde elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü için 56 W, en küçük ısıl etkilenen bölge için ise 68 W lazer gücünü gerektirmektedir. En iyi yüzey kalitesi açısından 62 W lazer gücünün seçilmesinin uygun olduğu anlaşılmıştır.



Görsel 4. Lazer kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki grafiği



Görsel 5. Lazer kesme parametrelerinin ısıdan etkilenen bölge üzerindeki etki grafiği

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, PMMA (Acrylic) iş malzemesinin CO₂ lazer kesilmesinde farklı lazer kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve ısıdan etkilenen bölge miktarlarına etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmaya ek olarak yapay sinir ağları metodu (YSA) kullanılarak optimum lazer kesme parametrelerinin belirlenmesi için eğitim ve tahminler yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgulardan yola çıkarak elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Eğitim ve test verileri açısından; yapay sinir ağları tahminleri ile deneysel ölçümlerin uyumlu olduğu görülmüştür.
- YSA tahminlerinde, yüzey pürüzlülüğü için %12,31 ve ısıdan etkilenen bölge için %9,56 ortalama hata oranları elde edilmiştir.
- Lazer kesme parametrelerinin etkileri değerlendirildiğinde; odak düzlemi açısından en düşük yüzey pürüzlülüğü ve ısıdan etkilenen bölge 1.2 mm odak düzleminde elde edilmiştir. 2.4 mm odak düzlemi de yüzey kalitesi açısından kabul edilebilir seviyededir. Lazer ışını, iş malzemesinin üst-orta kısmına odaklandığında en yüksek performansa ulaşılmıştır.

- Kesme hızı açısından en düşük yüzey pürüzlülüğü ve ısıdan etkilenen bölge 3 mm/s kesme hızında elde edilmiştir. En iyi yüzey kalitesinin elde edilmesi için yüksek kesme hızlarının seçilmesi gereklidir.
- Lazer gücü değişiminin yüzey kalitesi üzerindeki etkisi oldukça düşüktür. En düşük yüzey pürüzlülüğü 56 W ve en küçük ısıdan etkilenen bölge ise 68 W lazer gücünde elde edilmiştir. En iyi yüzey kalitesi için 62 W lazer gücünün seçilmesi gereklidir.
- PMMA levhaların lazer ile kesilmesi işleminde kesme bölgesinde en iyi yüzey kalitesinin elde edilmesi için iş malzemesinin üst-orta bölgesine denk gelen bir odak düzlemi, yüksek kesme hızı ve düşük-orta seviyede bir lazer gücünün seçilmesi sonucuna varılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Amasya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında FMB-BAP 23-0588 numaralı proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

1. Vakili-Tahami F, Adibeig MR, and Hassanifard S, Optimizing creep lifetime of friction stir welded PMMA pipes subjected to combined loadings using rheological model. *Polymer Testing*, 79:106049, 2019.
2. de Castro Monsorens KG, da Silva AO, Oliveira SdSA, Rodrigues JGP, and Weber RP, Influence of ultraviolet radiation on polymethylmethacrylate (PMMA). *Journal of Materials Research and Technology*, 8(5):3713-3718, 2019.
3. Piana G, Bella F, Geobaldo F, Meligrana G, and Gerbaldi C, PEO/LAGP hybrid solid polymer electrolytes for ambient temperature lithium batteries by solvent-free, "one pot" preparation. *Journal of Energy Storage*, 26:100947, 2019.
4. Georgopoulou A, Kummerlöwe C, and Clemens F, Effect of the elastomer matrix on thermoplastic elastomer-based strain sensor fiber composites. *Sensors*, 20(8):2399, 2020.
5. D'Elia A, Deering J, Clifford A, Lee B, Grandfield K, and Zhitomirsky I, Electrophoretic deposition of polymethylmethacrylate and composites for biomedical applications. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 188:110763, 2020.
6. Jobey C, Allanic N, Mousseau P, and Deterre R Prediction of thickness distribution of thermoformed multilayer ABS/PMMA sheets. In: *AIP Conference Proceedings*, 2016. vol 1. AIP Publishing,
7. Cai S, Liu W, Chen D, Yu F, Tao N, and Man J, Research and application of surface heat treatment for CO₂ continuous laser ablation of polymeric methyl methacrylate materials. *RSC advances*, 14(3):1909-1923, 2024.
8. Fu L-M, Ju W-J, Yang R-J, and Wang Y-N, Rapid prototyping of glass-based microfluidic chips utilizing two-pass defocused CO₂ laser beam method. *Microfluidics and nanofluidics*, 14:479-487, 2013.
9. Prakash S, and Kumar S, Determining the suitable CO₂ laser based technique for microchannel fabrication on PMMA. *Optics & Laser Technology*, 139:107017, 2021.

10. Dudala S, Rao LT, Dubey SK, Javed A, and Goel S, Experimental characterization to fabricate CO₂ laser ablated PMMA microchannel with homogeneous surface. *Materials Today: Proceedings*, 28:804-807, 2020.
11. Khoshaim AB, Elsheikh AH, Moustafa EB, Basha M, and Showaib EA, Experimental investigation on laser cutting of PMMA sheets: Effects of process factors on kerf characteristics. *Journal of Materials Research and Technology*, 11:235-246, 2021.
12. Alkhairi P, Batubara ER, Rosnelly R, Wanayaumini W, and Tambunan HS, Effect Effect of Gradient Descent With Momentum Backpropagation Training Function in Detecting Alphabet Letters. *Sinkron: jurnal dan penelitian teknik informatika*, 8(1):574-583, 2023.
13. Qian N, On the momentum term in gradient descent learning algorithms. *Neural networks*, 12(1):145-151, 1999.
14. Moradi M, Mehrabi O, Azdast T, and Benyounis KY, Enhancement of low power CO₂ laser cutting process for injection molded polycarbonate. *Optics & Laser Technology*, 96:208-218, 2017.
15. Choudhury IA, and Shirley S, Laser cutting of polymeric materials: an experimental investigation. *Optics & Laser Technology*, 42(3):503-508, 2010.

NUMERICAL INVESTIGATION OF A SINGLE IMPACT IN SHOT PEENING PROCESS

Assistant Prof. Dr. Özden İŞBİLİR

Karabuk University

ozdenisbilir@karabuk.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-2526-602X>

ABSTRACT

Shot peening is a commonly employed surface treatment method aimed at enhancing the mechanical properties of materials by producing compressive residual stresses on the surface and increasing fatigue resistance. This study presents a numerical investigation into the mechanics of single-shot impacts using an axisymmetric finite element model. The model incorporates material properties, shot diameter, and initial shot velocity to evaluate the surface characteristics of treated materials. The Johnson-Cook constitutive model was employed to simulate the elastoplastic behavior of target materials under high strain rates. The finite element analysis was validated against experimental and numerical data for three steel alloys: SAE 1070, AISI 2205, and AISI 4340, with deviations as low as 2.3% for dimple diameter and 0.75% for dimple depth. Key findings reveal that shot diameter and initial velocity significantly influence dimple dimensions, with shot diameter having a greater effect on dimple diameter, while both parameters similarly affect dimple depth. The model effectively balances computational efficiency and accuracy, offering a reliable alternative to experimental tests for predicting surface characteristics such as dimple diameter, depth, and distribution of residual stress. This study highlights the robustness of the proposed model and its potential for integration into research and development efforts with further modifications.

Keywords: Shot peening, Finite element analysis, Residual stress, Dimple dimensions, Surface treatment optimization, Modeling

1. INTRODUCTION

The shot peening is a widely recognized surface treatment method commonly used to improve the mechanical properties of materials, particularly metals. This enhancement is achieved by inducing compressive residual stresses and improving fatigue resistance. The process uses small spherical metal or ceramic shots to impact the material's surface, forming dimples and compressive stresses. The total area of these dimples and the compressive residual stress layer play a main role in determining the effectiveness of the treatment.

One of the significant advantages of shot peening process is its ability to enhance the fatigue strength of materials significantly. Zhou et al. [1] emphasized that coverage in shot peening process, which refers to the extent of the area treated by shots, is an important parameter in evaluating the effectiveness of the process. Adequate coverage ensures that the entire surface

is subjected to the peening effects, leading to uniform residual stress distribution and enhanced mechanical properties. The study found that insufficient coverage could result in areas of the surface remaining untreated, which may lead to premature failure due to cyclic loading. To maximize the benefits of the process, the coverage must be carefully optimized. In traditional shot peening process, a minimum of 98% of the treated surface is required to experience at least one impact. To satisfy the coverage of the process, information about dimple formation is required.

The profile of a dimple created in the shot peening, is also critical in determining the surface characteristics of the treated surface. Khun et al. [2] demonstrated that the diameter and depth of the dimples are directly influenced by the peening intensity and shot size. Larger shots typically generate deeper and wider dimples, enhancing the compressive residual stress field and improving fatigue resistance. However, excessively large dimples can elevate surface roughness, which may deteriorate the fatigue life. Similar findings have been indicated by Liu et al. [3], Akyildiz et al. [4], and Sorsa et al. [5], underscoring the need to balance dimple size with acceptable surface roughness. Optimizing shot size is therefore essential to achieve desired properties without compromising the surface's structural integrity.

Finite element modeling (FEM) has emerged as an indispensable tool for studying the mechanics of the shot peening and predicting the surface integrity. Sanjurjo et al. [6], Gangaraj et al. [7], Hu et al. [8], and Bhuvanaraghan et al. [9] have employed two- and three-dimensional FEM to simulate shot peening and analyze the contact between the shots and the target. These simulations reveal that process parameters, including shot velocity, impact angle, and shot size, affect dimple diameter and other surface characteristics significantly. While three-dimensional models offer comprehensive insights, they are computationally intensive. Two-dimensional models, on the other hand, are efficient alternatives for targeted investigations, such as analyzing dimple diameter or simulating single-shot impacts.

The present study conducts a numerical investigation of a single-shot impact during shot peening. An axisymmetric FE model was developed, incorporating the shot diameter, initial shot velocity, and the physical and mechanical properties of the target material under normal impact conditions. The predicted surface characteristics, including dimple diameter and depth, were validated by comparison with experimental and numerical data from the literature, as well as analytical model outputs.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

In this study, three different steel alloys, namely AISI 2205, AISI 4340, and SAE 1070 were used as target materials, and cast steel was used as shot material in the shot peening process. Table 1 provides some physical and mechanical properties of these materials.

Table 1. Mechanical Properties of Materials [6,8]

Materials	E (GPa)	ν	$\rho(\text{kg/m}^3)$
Cast Steel (Shot)	210	0.3	7800
AISI 2205 (Target)	192.433	0.3	7800
AISI 4340 (Target)	210	0.3	7800
SAE 1070 (Target)	205	0.29	7800

An appropriate constitutive material model is essential to accurately represent the mechanical behavior of material in shot peening. The Johnson-Cook constitutive model [10] is widely used and appropriate for this purpose as it effectively represents the mechanical behaviour of the material under high strain rates and different temperatures. The yield stress, $\bar{\sigma}$, is expressed in terms of isotropic hardening, strain rate hardening, and thermal softening, as shown in Eq. (1).

$$\bar{\sigma} = [A + B(\bar{\epsilon}^{pl})^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\bar{\epsilon}}^{pl}}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (1)$$

where $\bar{\epsilon}^{pl}$ is the equivalent plastic strain, $\dot{\bar{\epsilon}}^{pl}$ is the equivalent plastic strain rate, $\dot{\epsilon}_0$ is the reference strain rate, A is the yield stress at room temperature, B is the strain hardening constant, C is the strain rate constant, n is the strain hardening power constant, and m is the thermal softening power constant, T_r is room temperature, T is the current temperature, and T_m is the melting temperature of the material. Table 2 displays the Johnson-Cook constitutive model parameters for AISI 2205, AISI 4340, and SAE 1070 steel alloys.

Table 2. Johnson-Cook Constitutive Model Parameters [6,8]

Material	A (MPa)	B (MPa)	C	n	m	$\dot{\epsilon}_0$	T_m (°C)	T_r (°C)
AISI 2205	622	785.25	0.035	0.5046	1	1	1520	20
AISI 4340	1498	943.8	0.014	0.26	1.03	1	1520	20
SAE 1070	1408	600.8	0.0134	0.234	1	1	1520	20

2.2 Finite Element Model

The shot peening process was modeled as axisymmetric to enhance the computational efficiency by reducing the problem from three-dimensional (3D) to two-dimensional (2D). The effect of a single shot impact was investigated, and the proposed model focused on the behaviour of the material under monotonic load. Since the shot peening process involves thermo-mechanical deformation, the Johnson-Cook constitutive model was implemented for the target material in the dynamic analysis. Lagrangian formulation and Hertzian contact mechanics were utilized in the proposed model without friction coefficient. Figure 1 depicts the axisymmetric finite element model of the shot peening process.

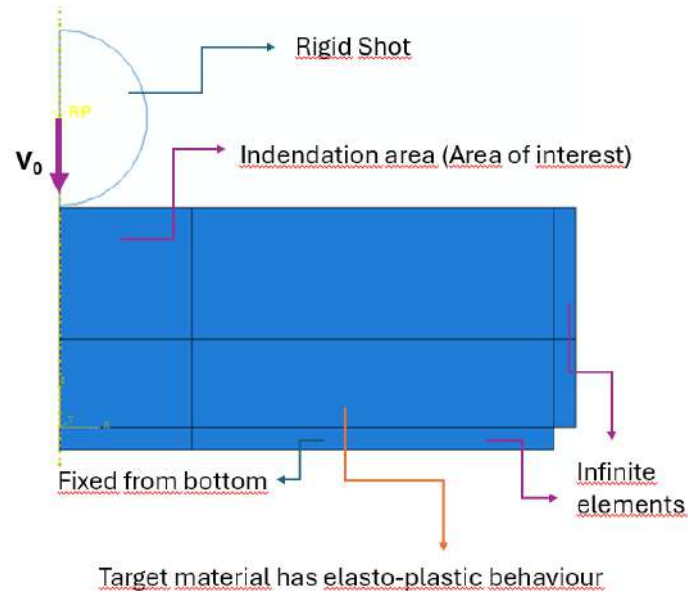


Figure 1: Axisymmetric Finite Element Model of Shot Peening Process

The target was modeled as a cylindrical specimen with a radius of 2.35 mm and 1.1 mm in height, as shown in Figure 1. Four-node axisymmetric elements with reduced integration were employed in the middle of the target specimen, whereas four-node axisymmetric infinite elements were used at the bottom and outer side edges of the specimen to eliminate the reflections of the elastic waves during shot peening and the size effect. The bottom of the specimen was constrained in all DOF. Since the shot impacted on the centre of the top surface of the specimen, the mesh was refined below this region (0.6 mm x 0.6 mm), and the biased mesh was used in the other parts of the specimen, as shown in Figure 2. Different element sizes between 2.5 μm and 25 μm were employed in the refined region on the target specimen to understand the effect of the element size on the solutions and to find the optimum element size in the proposed FE model of the shot peening process.

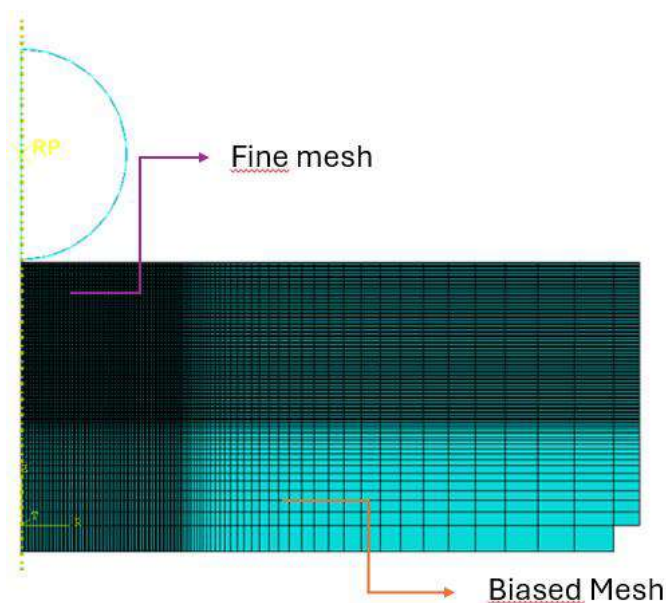


Figure 2: Mesh of Proposed Model

Steel shots were modeled rigid and axisymmetric, so stress calculations were not performed. Modeling the shots with elastoplastic behaviour would definitely increase the accuracy of the numerical results; however, it can increase the computational cost substantially, particularly in a three-dimensional model with multi-impact simulations for full coverage. A normal impact was used to maximize the impact energy in this research.

In the first stage of the investigation, the influence of element size on the results was examined, and the optimum element size was determined for the subsequent stages. Table 3 shows the process parameters at this stage for shot peening.

Table 3. Shot Peening Process Parameters for the Influence of Element Size

Target Material	Shot Diameter (mm)	Initial Shot Velocity (m/s)	Element Size (µm)
AISI 2205	0.8	44	2.5
			5
			10
			15
			20
			25

In the second stage of the study, different materials were selected from the literature, and the focus was on how the model would perform in shot peening for various target materials. The model's accuracy was assessed by comparing it with experimental and numerical results for these materials from the literature, as well as outcomes of the analytical models. Table 4 shows the process parameters for different target materials in shot peening.

Table 4. Shot Peening Process Parameters for Different Target Materials [6,7,8]

Target Material	Shot Diameter (mm)	Initial Shot Velocity (m/s)
AISI 2205	0.8	44
AISI 4340	0.8	70
SAE 1070	0.6	50

In the next stage of the analysis, the influence of shot diameter on shot peening process outputs was examined by finite element analysis. Table 5 shows the process parameters for this investigation.

Table 5. Shot Peening Process Parameters for the Influence of Shot Diameter

Target Material	Shot Diameter (mm)	Initial Shot Velocity (m/s)
AISI 2205	0.4	44
	0.6	
	0.8	
	1	

In the last stage of the research, the influence of initial shot velocity on shot peening process outputs was examined by finite element analysis. Table 6 shows the process parameters for this investigation.

Table 6. Process Parameters for the Influence of the Initial Shot Velocity

Target Material	Shot Diameter (mm)	Initial Shot Velocity (m/s)
AISI 2205	0.8	30
		44
		50
		70

2.3 Analytical Models

Figure 3 shows typical dimples (indentations) on the surface of the target after the shot peening process. It must be noted that there could be overlaps of the dimples during the real shot peening process.

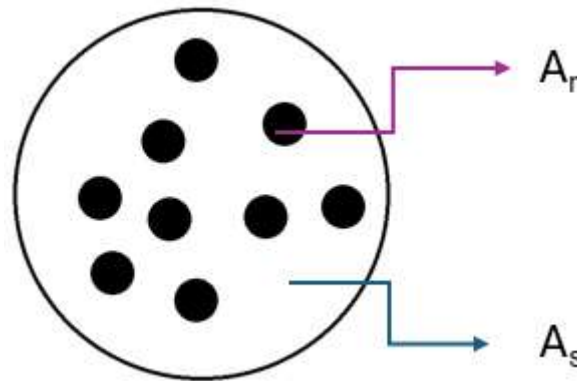


Figure 3: Dimples (Indentations) in Shot Peening

One important measure of the shot peening process is called coverage, expressed as the percentage of the total area of the dimples to the area of the target surface or the percentage of the treated surface. For full coverage, it must be at least 98%. The experimental measurement during the industrial application is not very practical. Shot peening coverage, C , is expressed by the well-known Avrami Equation by Eq. (2) [11].

$$C = 100x \left[1 - e^{\left(-\frac{A_r N_i}{A_s}\right)} \right] \quad \text{Eq. (2)}$$

Where; A_r is the dimple area after a single impact of a shot on the target surface, A_s is the area of the target surface, N_i is the number of impacts in a shot peening process. For a 3-D multi-impact shot peening process, the dimple area must be known before the simulations. Dimple diameter can be estimated by 2-D, 3-D finite element models and analytical models, or measured experimentally after a single shot impact.

Analytical models are useful to calculate the theoretical maximum radius of dimple (a) and depth of dimple (δ). The details of a dimple after a single impact in the shot peening process are demonstrated in Figure 4.

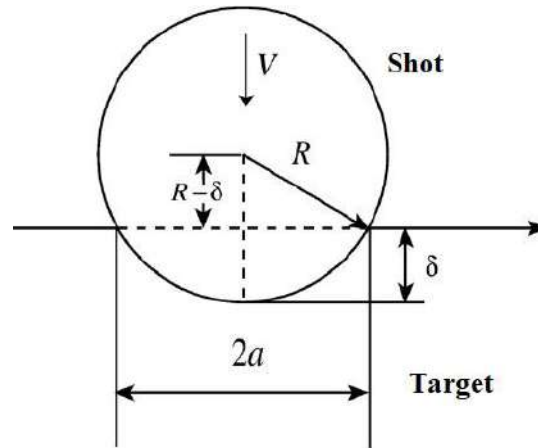


Figure 4: Details of a Dimple After a Single Impact in Shot Peening

Miao et al. [12] demonstrated the analytical models for the radius and depth of dimples. For a fully elastic material, the radius of dimple (a_e) and depth of dimple (δ_e) are expressed by Eq.(3) and Eq.(4), respectively.

$$a_e = R \left[\frac{5\pi k \rho (V \sin \theta)^2}{4E_H} \right]^{\frac{1}{5}} \quad \text{Eq. (3)}$$

$$\delta_e = R \left[\frac{5\pi k \rho (V \sin \theta)^2}{4E_H} \right]^{\frac{2}{5}} \quad \text{Eq. (4)}$$

Where; R is the shot radius, ρ is the density of the shot material, V is the initial shot diameter, θ is the impact angle, k is the efficiency coefficient, and E_H is the equivalent elasticity modulus. The efficiency coefficient, which accounts for elastic and thermal dissipation during impact, is set at 0.8, as suggested by Johnson [13]. The equivalent elasticity modulus is expressed by Eq. (5).

$$\frac{1}{E_H} = \frac{1-\nu_S^2}{E_S} + \frac{1-\nu_T^2}{E_T} \quad \text{Eq. (5)}$$

For a fully plastic material, the radius of dimple (a_p) and depth of dimple (δ_p) are calculated by Eq.(6) and Eq.(7), respectively.

$$a_p = R \left[\frac{8\rho (V \sin \theta)^2}{9\sigma_S} \right]^{\frac{1}{5}} \quad \text{Eq. (6)}$$

$$\delta_p = \sqrt{\frac{2\rho R^2 (V \sin \theta)^2}{9\sigma_S}} \quad \text{Eq. (7)}$$

where σ_s is the yield stress of the target material.

3. RESULTS and DISCUSSIONS

In the initial stage of this research, the effect of element size on the shot peening process outputs was systematically investigated. Six different element sizes, ranging from 2.5 μm to 25 μm , were evaluated in the contact region, considering both error rate and computational time. As depicted in Figure 5, this analysis was conducted using AISI 2205 as the target material, with a 0.8 mm diameter steel shot impacting at an initial velocity of 44 m/s. The optimal element

size was determined to be 5 μm , which resulted in an estimated dimple diameter of 259 μm —only a 0.4% underestimation compared to the experimental value of 260 μm . Models employing other element sizes also produced results within a 2% variation from the experimental data. The largest deviation was observed in the model with a 25 μm element size, while the longest computational time was associated with the model using a 2.5 μm element size. Based on these findings, a 5 μm element size was selected for further analyses, balancing computational efficiency and accuracy.

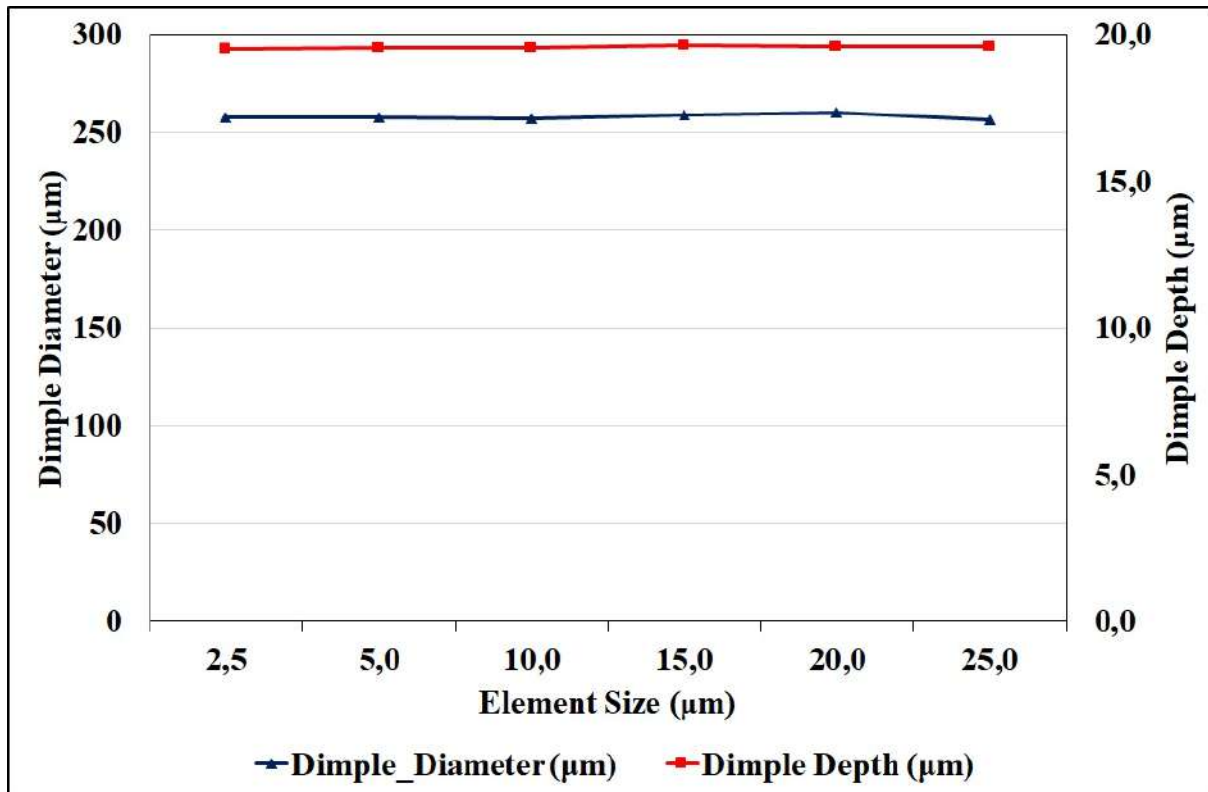


Figure 5: Effect of Element Size on the Process Outputs After a Single Impact in Shot Peening Process (Target Material:AISI 2205, Shot Diameter: 0.8 mm, Initial Shot Velocity:44 m/s)

Figure 6 illustrates the dimple profile induced by a single impact of a 0.8 mm steel shot on AISI 2205 target material, with an initial impact velocity of 44 m/s, as estimated by finite element analysis utilizing a 5 μm element size. The horizontal axis illustrates the position from the center of the target (in millimeters), while the vertical axis corresponds to the plastic deformation (in micrometers). From the plot, the dimple diameter and depth resulting from the FE analysis with specified shot peening parameters were determined to be 259 μm and 19.5 μm , respectively.

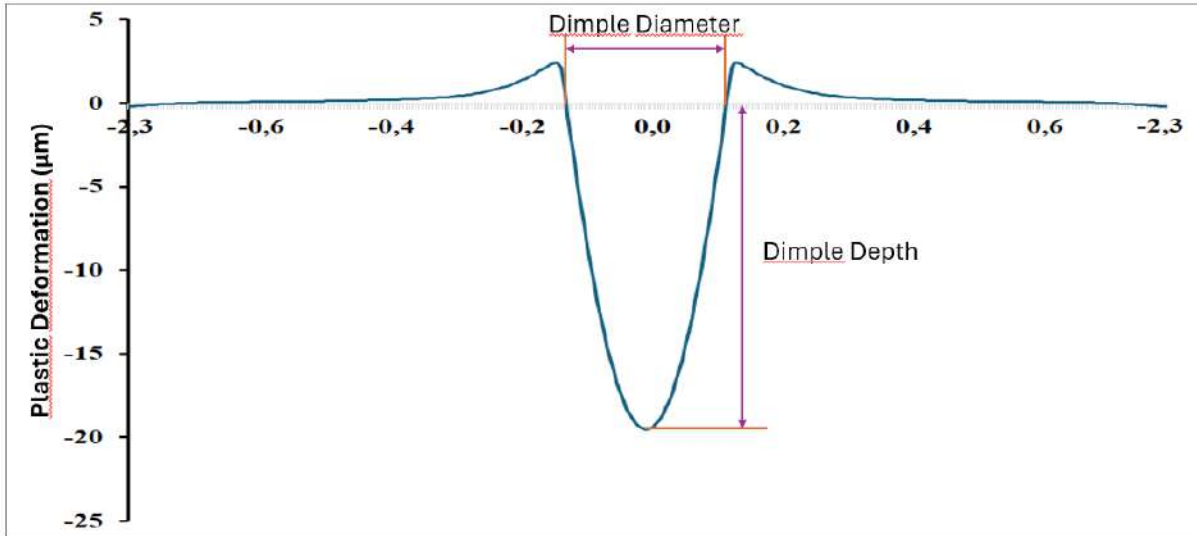


Figure 6: Dimple Profile After a Single Impact in Shot Peening Process
(Target Material:AISI 2205, Shot Diamater: 0.8 mm, Initial Shot Velocity:44 m/s)

Figure 7 illustrates the resulting residual stress distribution in the vertical direction and the equivalent plastic deformation resulting from a single impact of a 0.8 mm steel shot on AISI 2205 target material at an initial velocity of 44 m/s, as determined through finite element analysis using a 5 µm element size. While the residual stress distribution presented here is specific to a single impact and does not reflect the entire shot peening with full coverage, it provides valuable insights into the localized effects of individual impacts. The maximum compressive residual stress is 467.5 MPa, corresponding to approximately 75% of the material's yield strength at a depth of 182 µm from the top surface. Additionally, the maximum equivalent plastic deformation is 0.233 under the specified process parameters.

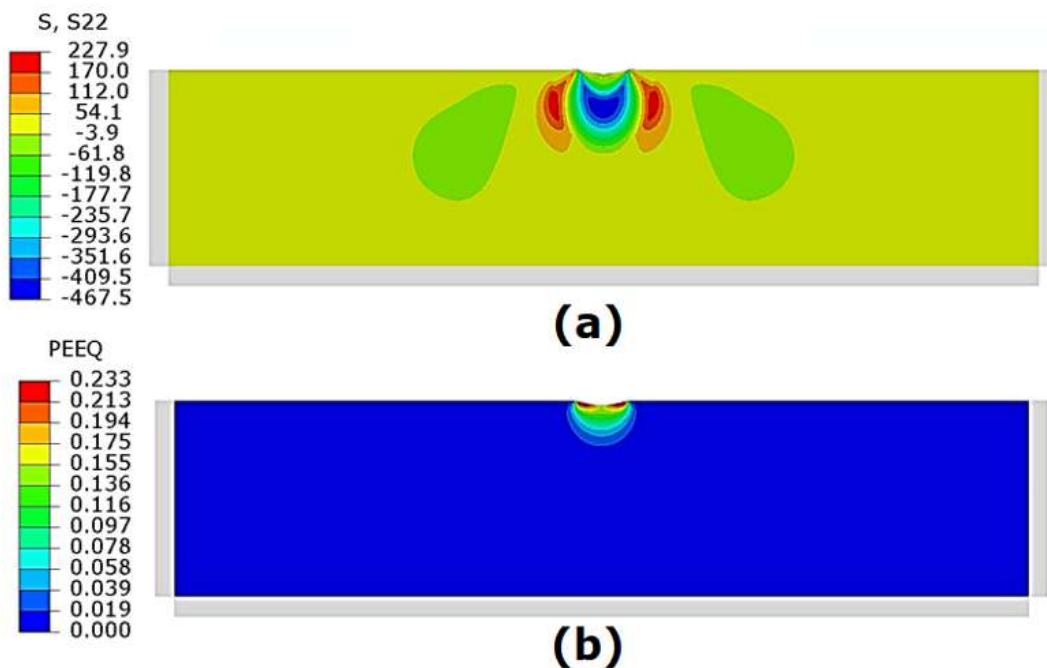


Figure 7: (a) Stress in the Vertical Direction (b) Equivalent Plastic Strain (PEEQ) After a Single Impact in Shot Peening Process (Target Material:AISI 2205, Shot Diameter: 0.8 mm, Initial Shot Velocity:44 m/s)

In the second stage of the study, three target materials referenced in the literature, namely AE 1070, AISI 2205, and AISI 4340, were chosen to assess the compatibility and efficiency of the proposed finite element model. The model's accuracy was assessed by comparing its predictions with experimental, numerical data obtained from the literature, as well as analytical model outputs. Figure 8 presents the dimple diameters predicted by the proposed finite element model alongside those reported in the literature for the selected materials. For validation purposes, the process parameters used in the proposed model were used identical to those specified in the literature. The differences between the proposed model and the experimental or numerical results were 1.9% for SAE 1070, 0.4% for AISI 2205, and 2.3% for AISI 4340, demonstrating the high accuracy of the model. The results underscore the robustness and reliability of the current model in capturing the mechanics of the shot peening process. When compared to the analytical models, the proposed finite element analysis (FEA) results exhibited a consistent trend. The predicted dimple diameters were larger than those of the analytical model assuming purely elastic material behavior but smaller than those of the analytical model assuming purely plastic material behavior. The differences ranged between 9% and 50%, can be attributed to the use of an elastoplastic material model that does not conform strictly to either perfectly elastic or perfectly plastic assumptions. This difference arises due to the unloading effect caused by shot rebound, which allows for relaxation in the deformation of the target material.

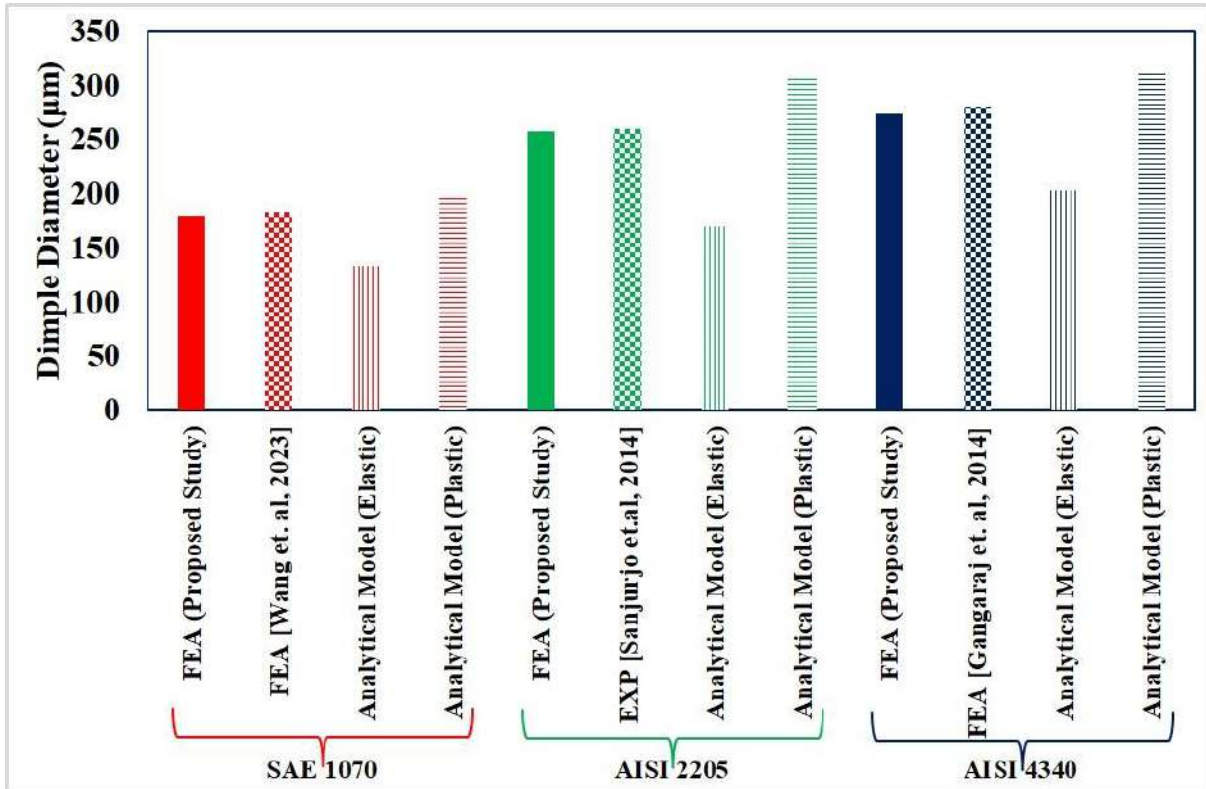


Figure 8: Comparison of Dimple Diameter with Published Literature and Analytical Models After a Single Impact in Shot Peening Process

Figure 9 presents the dimple depths estimated by the proposed FE model in comparison with those reported in the literature for SAE 1070, AISI 2205, and AISI 4340. For SAE 1070, the proposed model estimated a dimple depth of 12.12 μm , whereas Wang et al. [14] reported a depth of 12.03 μm , corresponding to a 0.75% overestimation. The proposed model generally predicted dimple depths smaller than those derived from analytical models, with deviations ranging between 8% and 30%. It is essential to mention that the analytical models calculate maximum dimple depths just before the shot bounces back. In contrast, the proposed FE model accounts for the unloading and relaxation behavior inherent to elastoplastic materials, providing more realistic and physically representative results compared to the analytical approaches.

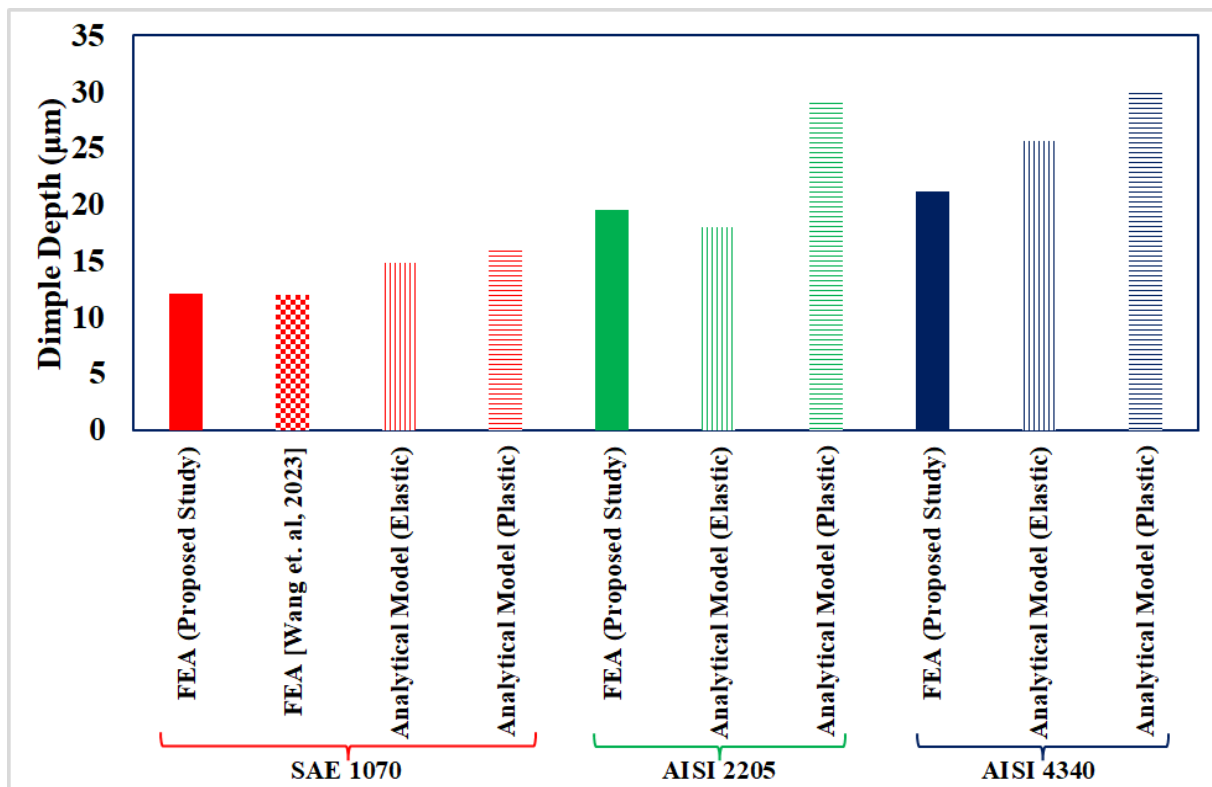


Figure 9: Comparison of Dimple Height with Published Literature and Analytical Models After a Single Impact in Shot Peening Process

In the third stage of the analysis, the influence of shot diameter on the outputs of the shot peening process was investigated using finite element analysis. AISI 2205 steel alloy was selected as the target material, with an initial shot velocity of 44 m/s. Steel shots with diameters of 0.4 mm, 0.6 mm, 0.8 mm, and 1 mm were employed in the simulations. Figure 10 illustrates the correlation between shot diameter and the numerically obtained dimple diameter and depth following a single impact. The smallest dimple diameter and depth, 128.5 μm and 9.8 μm respectively, were observed in simulations using a 0.4 mm diameter steel shot. Conversely, the largest dimple diameter and depth, 321.6 μm and 24.3 μm respectively, were recorded in simulations using a 1 mm diameter steel shot. This demonstrates that a 150% increase in shot diameter resulted in an approximately 150% increase in both dimple diameter and depth. The observed trend can be explained by the increase in kinetic energy with larger shot mass, as greater impact energy naturally produces larger dimple formation.

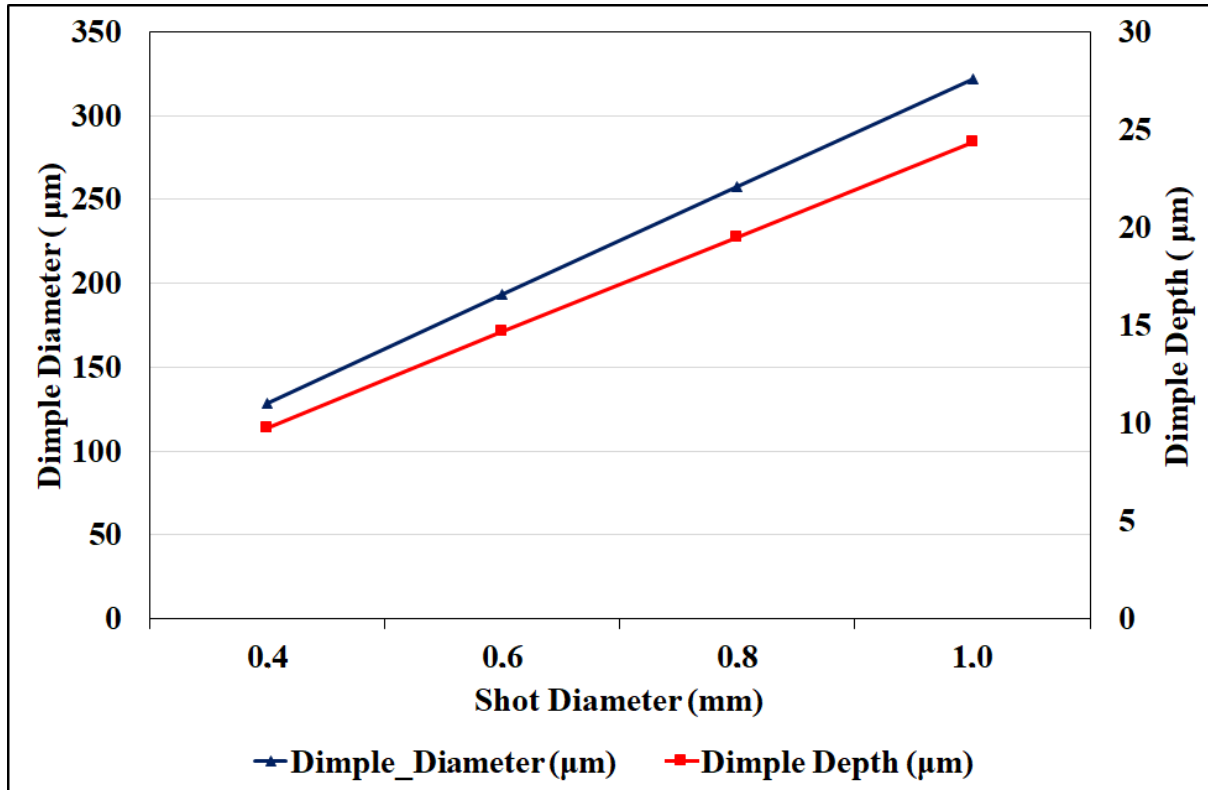


Figure 10: Effect of Shot Diameter on Dimple Diameter and Dimple Height After a Single Impact in Shot Peening Process (Target Material:AISI 2205, Initial Shot Velocity:44 m/s)

In the final stage of the investigation, the influence of initial shot velocity on the outcomes of the shot peening process was analyzed using finite element modeling. AISI 2205 steel alloy was chosen as the target material, and the shot diameter was fixed at 0.8 mm. Simulations were conducted for initial shot velocities of 30 m/s, 44 m/s, 50 m/s, and 70 m/s. Figure 11 illustrates the influence of initial shot velocity on the numerically obtained dimple diameter and depth resulting from a single impact. The smallest dimple diameter and depth, 214.2 µm and 13.4 µm respectively, were observed at an initial velocity of 30 m/s. Conversely, the largest dimple diameter and depth, 322.4 µm and 30.8 µm respectively, were recorded at an initial velocity of 70 m/s. The results indicate that a 133.3% growth in the shot velocity led to an approximately 50.6% increase in dimple diameter and a 130% increase in dimple depth. The observed effects are attributed to the quadratic relationship between kinetic energy and velocity. As the initial shot velocity increases, the impact energy rises significantly, resulting in larger dimple dimensions. Notably, the dimple depth is more sensitive to changes in initial velocity than the dimple diameter.

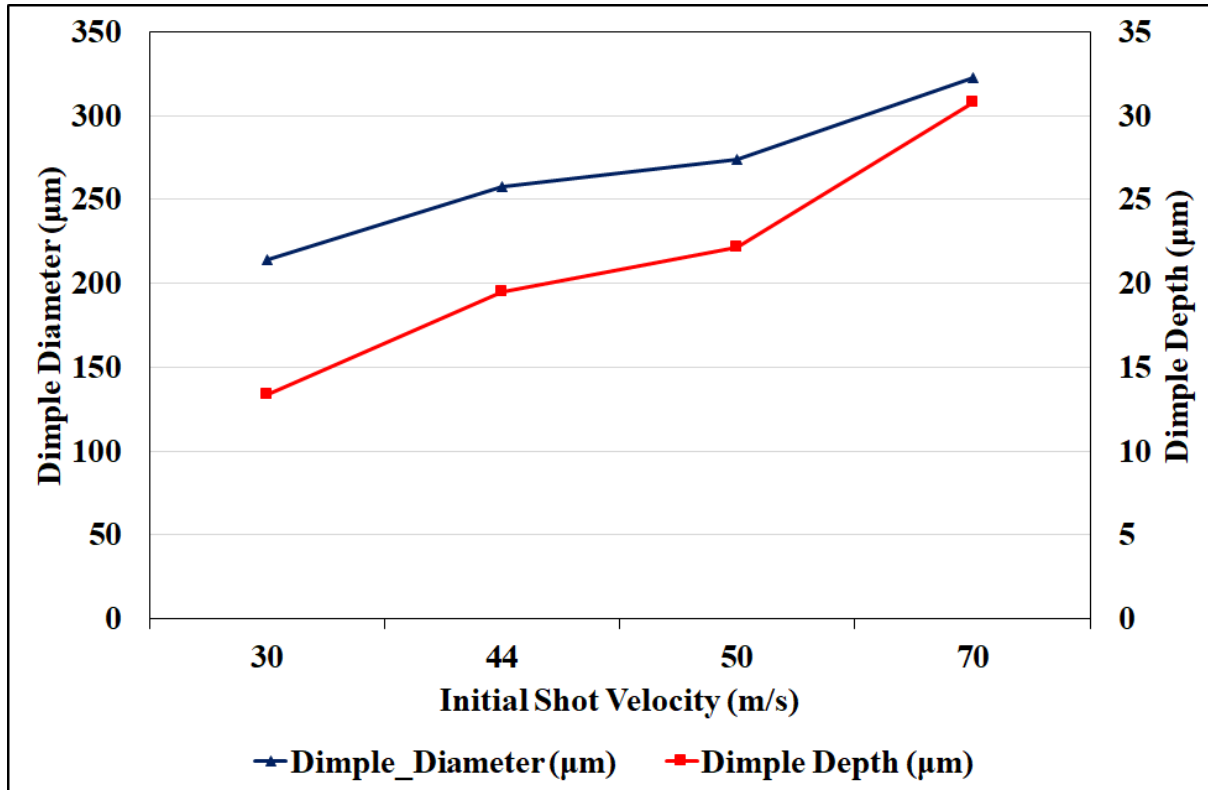


Figure 11: Effect of Shot Velocity on Dimple Diameter and Dimple Height a Single Impact in Shot Peening Process (Target Material:AISI 2205, Shot Diameter:0.8 mm)

4. CONCLUSION

This study investigated the mechanics of a single impact in the shot peening process using an axisymmetric dynamic finite element model. The primary objective was to analyze the effects of individual impacts on target surfaces, accounting for material properties, target constitutive behavior, shot diameter, and initial shot velocity. The finite element model employed a pure Lagrangian formulation with Hertzian contact mechanics and was designed as a two-dimensional model to reduce computational costs. Comparisons with experimental and numerical data from the literature were performed using three steel alloys (SAE 1070, AISI 2205, and AISI 4340). The main findings of this research are as follows:

- The developed model demonstrated strong agreement with experimental results, with a maximum variation of 2.3% for dimple diameter and 0.75% for dimple depth compared to published experimental and numerical data. The model accurately captured the effects of shot peening across all materials investigated.
- Both shot diameter and initial shot velocity significantly influenced the dimple dimensions. Shot diameter had a more pronounced effect on dimple diameter, while dimple depth was influenced similarly by both parameters. The quadratic relationship between velocity and kinetic energy further underscores the critical role of impact energy in determining dimple dimensions.
- The proposed FE model offers a robust and cost-effective alternative to expensive and time-intensive experimental tests for studying the shot peening process. It provides a

foundation for optimizing process parameters and enhancing the efficiency of surface treatments.

Future developments could extend this model to three-dimensional multi-impact simulations incorporating conventional full-coverage and severe shot peening processes. This would enable the prediction of more complex outputs, such as residual stress profile, surface roughness, and fatigue life. With careful application, the model can be integrated into research and development activities, serving as a valuable tool for optimizing machine components and improving surface treatment techniques.

REFERENCES

1. Zhou, F., Jiang, W., Du, Y., & Xiao, C. A Comprehensive Numerical Approach for Analyzing the Residual Stresses in AISI 301LN Stainless Steel Induced by Shot Peening, *Materials*, 12, 20, 2019.
2. Khun, N., Trung, P., & Butler, D. (2021). Study on Hardness and Wear resistance of Shot Peened AA7075-T6 Aluminum Alloy, *Engineering Research Express*, 3, 1, 2021.
3. Liu, Z., Wong, T., Huang, W., Sridhar, N., & Wang, X. Effect of Surface Polishing Treatment on the Fatigue Performance of Shot-Peened Ti-6Al-4V Alloy, *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 30, 7, 2017.
4. Akyildiz, H., Külekçi, M., & Eşme, U. Influence of Shot Peening Parameters on High-Cycle Fatigue Strength of Steel Produced by Powder Metallurgy Process, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 38, 10, 2015.
5. Sorsa, A., Santa-aho, S., Warttinen, J., Suominen, L., Vippola, M., & Leiviskä, K. Effect of Shot Peening Parameters to Residual Stress Profiles and Barkhausen Noise, *Journal of Nondestructive Evaluation*, 37, 1, 2018.
6. Sanjurjo, P., Rodríguez, C., Peñuelas, I., García, T.E., Belzunce, F.J. Influence of the Target Material Constitutive Model on the Numerical Simulation of a Shot Peening Process, *Surface and Coatings Technology*, 258, 822-831, 2014.
7. Gangaraj, S.M.H., Guagliano, M., Farrahi, G.H. An Approach to Relate Shot Peening Finite Element Simulation to the Actual Coverage, *Surface and Coatings Technology*, 243, 39-45, 2014.
8. Hu, D., Gao, Y., Meng, F., Song, J., Wang, Y., Ren, M., Wang, R. A Unifying Approach in Simulating the Shot Peening Process Using a 3D Random Representative Volume Finite Element Model, *Chinese Journal of Aeronautics*, 30, 4, 2017.
9. Bhavaraghan, B., Srinivasan, S., Maffeo, B., McClain, R., Potdar, Y., & Prakash, O. Shot Peening Simulation Using Discrete and Finite Element Methods, *Advances in Engineering Software*, 41, 12, 2010.

10. Johnson, G.R. & Cook, W.H. *A Constitutive Model and Data for Metals Subjected to Large Strains, High Strain Rates and High Temperatures*. Proceedings of the Seventh International Symposium on Ballistics, 541–547, The Hague, 1983.
11. Avrami, M. Geometry and Dynamics of Populations, *Philosophy of Science* 8, 115–132, 1941.
12. Miao, H.Y., Larose, S., Perron, C., Lévesque, M. An Analytical Approach to Relate Shot Peening Parameters to Almen Intensity, *Surface and Coatings Technology*, 205, 7, 2010.
13. Johnson, W. *Impact Strength of Materials*, Edward Arnold and London, 1972.
14. Wang, C., Tao, X., Sun, K. Wang, S., Li, K., Deng, H. On the Sensitivity of the Three-Dimensional Random Representative Finite Element Model of Multiple Shot Impacts to the SP-Induced Stress Field, Almen Intensity, and Surface Roughness, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 125, 2549–2567, 2023.

USE OF RECYCLED POLYMER-ADDED ABS IN THE PRODUCTION OF HINGE PLATES USED IN REFRIGERATORS BY PLASTIC INJECTION MOLDING

Duygu CANDAR ¹, Hakan ŞAHLAN ², Melih ŞENGÖZ ³

¹Eskisehir Technical University, Faculty of Engineering, Material Science and Engineering, Eskisehir, Turkey, <https://orcid.org/0000-0003-0848-5332>.

²Nova Mould Industry Inc., Eskisehir, Turkey, <https://orcid.org/0009-0006-1926-3232>

³Nova Mould Industry Inc., Eskisehir, Turkey, <https://orcid.org/0009-0002-4256-0439>

ABSTRACT

The release of plastic waste from production facilities, hospitals, homes and offices into nature has increased with the increased in the use of polymeric materials all over the world. Releasing plastic waste in nature causes soil and water pollution and disrupts the balance of the ecological system by mixing with the food chain. When plastic waste is not recycled, it also harms the national economy. So, plastic recycling studies have accelerated in recent years. In this paper, the hinge plates used in refrigerators were produced by injection molding using recycled polymer-added ABS. 20% recycled polymer added raw material was used during production and the effect of recycled polymer addition on the physical and mechanical properties of the product was investigated in relation to the microstructure. When the colors and brightness of products made of standard ABS and ABS containing recycled polymer additive were compared with measuring devices and visual inspection, it was determined that these products could be used interchangeably. When the tensile test results of products made from two different polymers were examined, it was determined that the addition of recycled polymer caused a slight decrease in tensile strength and an approximately 3-fold increase in elongation at break. The use of 20% recycled polymer added ABS raw material in the production of hinge bearings used in refrigerators is suitable in terms of the physical and mechanical performance of the product.

Keywords: Recycled polymers, ABS, injection molding, hinge plate, refrigerator

1.INTRODUCTION

The release of plastic waste from production facilities, hospitals, homes and offices into nature has increased with the increased in the use of polymeric materials all over the world. Non-recycled polymer waste cause soil and water pollution, disrupts the balance of the ecological system and it also harms the national economy ^[1,2,3,4,5]. So, plastic recycling studies have accelerated in recent years and studies have carried out on the recycling of many polymers such as polypropylene ^[6,7,8], polyethylene ^[6,7], polyurethane ^[9,10], polyvinyl chloride ^[11,12], polyethylene terephthalate ^[2,13] and ABS ^[14,15] etc.

ABS is a terpolymer synthesized by polymerization of acrylonitrile and styrene monomers in the polybutadiene existence ^[15,16,17]. It consists of 3 different monomers: acrylonitrile, butadiene

and styrene, and each of these monomers gives ABS different properties. Styrene provides gloss, workability and rigidity, while acrylonitrile provides high chemical and heat resistance and butadiene monomer provides toughness ^[14].

It is one of the most widely used polymers in electrical, electronic equipment, the automotive industry, toys and household appliances today due to its high impact and heat resistance, lightness, easy processability and excellent dimensional stability ^[18,19,20,21]. The fact that ABS can be modified with additives to gain different properties also makes its use widespread ^[19,20,21]. The increasing use of ABS polymer and new European standards make recycling of this polymer important from an economic and environmental perspective ^[15].

In this study, the effect of recycled polymer additive on the physical and mechanical properties of the hinge plates used in refrigerators was investigated by using standard thermoplastic ABS and ABS raw material containing 20% recycled polymer additive.

2. EXPERIMENTAL RESEARCH

Plastic raw material properties are critical for the proper determination of parameters in the injection molding process and for the final product to be produced in the planned quality. Therefore, experimental studies were started by measuring the density values and determining the moisture contents of standard ABS and ABS raw material containing 20% recycled polymer in this work. Density values of polymeric materials in granular form were measured via Precisa 220A analytical balance and density measurement kit based on TS EN ISO 1183-1 Method A. The moisture content values of polymers were determined by Kern DBS 60-3 branded halogen moisture analysis equipment.

Hinge plates were produced by injection molding process using Arburg branded machine. Whether the critical dimensions of the hinge plate specified on the technical drawing are within the tolerance range has been controlled through measurements. Color and gloss measurements of prototype products were made with a Konica Minolta branded spectrophotometer and glossmeter.

Tensile tests were performed at TUBITAK BUTAL based on ISO 527-2. Microstructural analysis were accomplished via FE-SEM at 5 kV at Kutahya Dumlupınar University after tensile tests. The hardness values of products made of ABS containing recycled polymer additives and virgin ABS were determined using the Mitutoyo Corp. branded Shore D hardness tester.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Moisture content and density measurement results are given in Table 1. The moisture content of the polymeric raw materials was suitable for injection molding production, and the density values were very close to the values received from the polymer supplier company.

Table1. Density and moisture content measurement results of polymeric raw materials

Property	Standard ABS	%20 Recycled Polymer Added ABS
Moisture %	1.04	1.06
Density (g/cm ³)	0.10	0.12

Dimensional measurement results of the hinge plate parts and the tolerance values are given in Table 2. As a result of the measurements, it was determined that the dimensions of the final products were within the specified tolerance range based on DIN 16901. The properties of the parts produced by the injection molding process can vary depending on the mold cavity due to mold design and the flow characteristics of the molten polymer. Therefore, dimensional control measurements were made by taking into account the mold cavities in which the parts were produced.

Table 2. Dimensional measurement results of the hinge plate parts

No.	Specified Value	Tolerance (DIN 16901)	1 st Cavity	2 nd Cavity	3 rd Cavity	4 rd Cavity
1	78,00	±0,34	77,89	78,04	77,93	78,00
2	22,00	±0,17	21,77	21,91	21,77	21,88
3	20,00	±0,15	20,02	20,12	20,06	20,08
4	20,00	±0,20	37,98	38,02	37,94	38,00
5	11,00	±0,13	10,98	10,81	10,99	10,74
6	15,00	±0,15	15,00	15,03	14,90	15,06
7	5,60	±0,10	5,88	5,83	5,92	5,92
8	3,50	±0,10	3,45	3,44	3,40	3,39
9	17,00	±0,15	16,96	16,96	16,93	16,94
10	12,00	±0,13	12,07	12,09	12,08	11,89
11	2,5	±0,09	2,39	2,53	2,58	2,37
12	1,50	±0,09	1,48	1,44	1,49	1,52
13	4,00	±0,10	3,97	3,94	3,88	3,75
14	12,00	±0,13	12,05	11,91	12,00	11,88

15	1,50	±0,09	1,47	1,53	1,48	1,46
----	------	-------	------	------	------	------

Color and gloss measurement results are given in Table 3 and in Table 4, respectively. Samples produced from standard ABS are named with S, while samples produced from recycled polymer containing ABS are named with R. When the color measurement results of 3 samples produced from each of the two polymers were compared, it was determined that the addition of recycled polymer caused a darkening of the color tone of up to 4%. In addition, a decrease in product gloss ranging from approximately 13% to 20% is observed due to recycled polymer addition.

Table 3. Color measurement results of the samples

Sample Name	L*	a*	b*
S-1	26.56	0.02	-1.12
S-2	26.37	0.03	-1.10
S-3	26.27	0.03	-0.65
R-1	27.28	0.09	-0.33
R-2	26.37	0.15	-0.10
R-3	25.68	0.12	-0.35

Table 4. Gloss measurement results of the samples

Sample Name	$\theta=20^\circ$	$\theta=60^\circ$	$\theta=85^\circ$
S-1	1.8	58.6	80.3
S-2	2.4	54.0	73.7
S-3	2.2	53.1	70.4
R-1	3.2	46.5	77.6
R-2	1.6	47.2	60.2
R-3	1.7	47.1	61.0

Tensile test results of samples made of virgin ABS and ABS containing 20% recycled polymer are given in Table 5. The tensile strength and elastic modulus values of the product produced from recycled polymer-added ABS are very close (decrease of less than 2%) to the values of the product produced from virgin ABS. In addition, more than 3-fold increase in elongation at break was observed with the use of recycled polymer-added ABS.

Table 5. Tensile test results of samples made of virgin ABS and ABS containing 20% recycled polymer

Sample Name	Elastic Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Strain at Break (%)
S-1	2167	42.2	12.77
S-2	2236	42.6	9.29
S-3	2234	42.6	8.37
Average	2212	42.5	10.1
R-1	2150	41.3	25.7
R-2	2265	41.5	37.1
R-3	2097	42.2	31.1
Average	2171	41.7	31.3

The hardness measurement results of the samples are given in Table 6. It was observed that the difference between the hardness values on the Shore D scale of the products made of two different polymers was between 0.6-4%.

Table 6. Hardness measurement results

Sample Name	Hardness (Shore D)
S-1	73.7
S-2	77.7
S-3	75.3
R-1	74.5
R-2	75.3
R-3	77.2

The results of the microstructure analysis performed after the tensile test are given in Figure 1 and Figure 2. Ductile fracture behavior was observed in both samples produced from standard ABS and ABS containing recycled polymer.

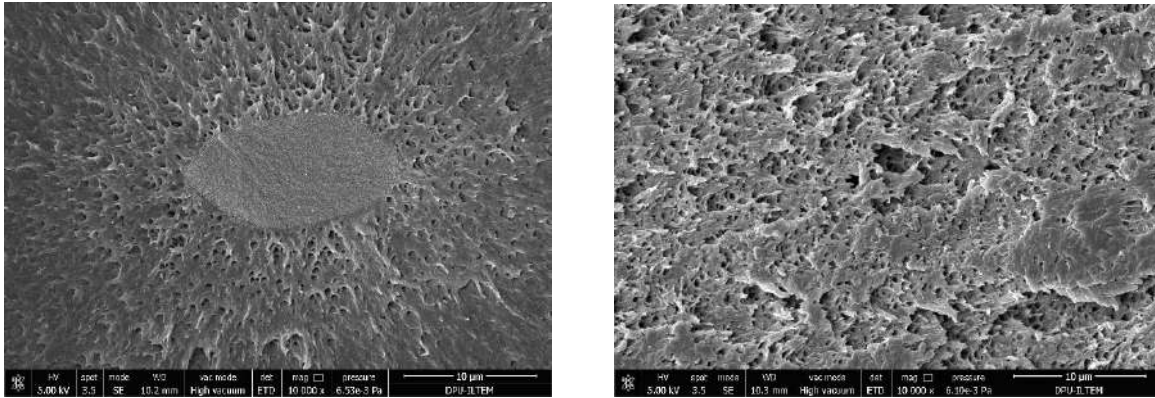


Figure 1. SEM images of samples produced from standard ABS

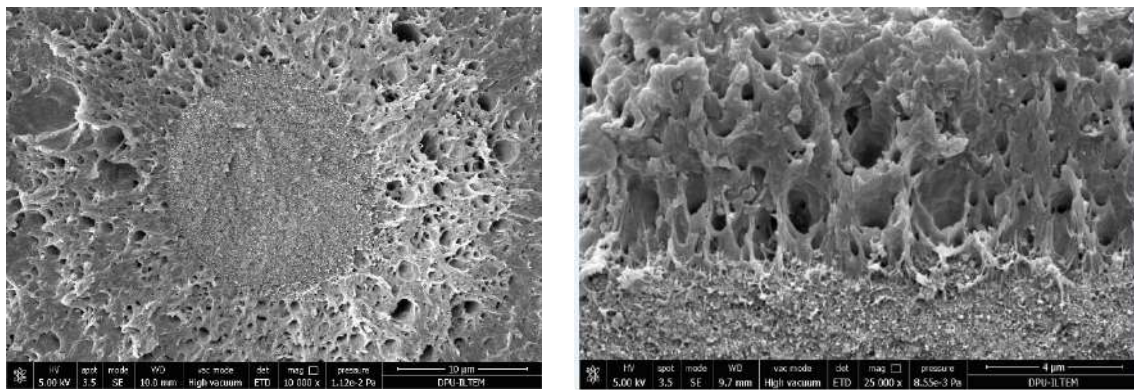


Figure 2. SEM images of samples produced from recycled polymer added ABS

The addition of 20% recycled polymer to ABS caused changes in tensile strength, elastic modulus and color tone that did not affect the product performance. A significant decrease in product brightness was observed, but since the hinge plate is not a visible part, this change can be ignored.

REFERENCES

- [1] Ignatyev, A. I., Thielemans, W., Beke, V. B. Recycling of Polymers: A Review, European Chemical Societies Publishing, May, 7, 6, 2024.
- [2] Güçlü, M., *Thermal Stability Investigation of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) Through Dynamic Rheological Measurements*, Master's Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul, 2020.
- [3] Sasse, F., Emig, G. Chemical Recycling of Polymer Materials, Chemical Engineering & Technology, October, 21, 10, 1998.
- [4] Chanda, M. Chemical Aspects of Polymer Recycling, Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, July, 4, 3, 2021.
- [5] Toroslu, G. A., Geri Dönüşümlü Akrilonitril Bütadiyen Stiren (ABS) Plastik Malzemesinin Kalıplama Parametrelerine Etkisi, Politeknik Dergisi, 23,3,2020.
- [6] Aschilias, S. D., Roupakias, C., Megalokonomos, P., Lappas, A. A., Antonakov, V. E. Chemical Recycling of Plastic Wastes Made from Polyethylene (LDPE and HDPE) and Polypropylene (PP), Journal of Hazardous Materials, November, 149, 3, 2007.
- [7] Meran, C., Ozturk, O. Yuksel, M. Examination of the Possibility of Recycling and Utilizing Recycled Polyethylene and Polypropylene, Materials & Design, November, 29, 3, 2008.
- [8] Spicker, C., Rudolph, N., Kühnert, I., Aumnate, C. The Use of Rheological Behavior to Monitor the Processing and Service Life Properties of Recycled Polypropylene, Food Packaging and Shelf Life, March, 19, 2019.
- [9] Zahedifar, P., Pazdur, L., Vande Velde, L. M. C., Billen, P. Multistage Chemical Recycling of Polyurethanes and Discarbamates: A Glycolysis-Hydrolysis Demonstration, Sustainability, February, 13, 2021.
- [10] Behrendt, G., Naber, W. B. The Chemical Recycling of Polyurethanes (Review), Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, February, 44, 1, 2009.
- [11] Sadat-Shojai, M., Bakhshandeh, R. G. Recycling of PVC Wastes, Polymer Degradation and Stability, April, 96, 4, 2011.
- [12] Lewandowski, K., Skórczewska, K. A Brief Review of Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Recycling, Polymers, June, 14,15, 2022.
- [13] Welle, F. Twenty Years of PET Bottle to Bottle Recycling-An Overview, Resources, Conservation and Recycling, September, 55, 11, 2021.
- [14] Ezgü, B. A., *Investigation of the Dyeability of Post- Consumer Recycled Acrylonitrile-Butadiene- Styrene (PCR-ABS) by Using Antistatic Agent and Plasma Treatment*, Master's Thesis, Istanbul Technical University, Graduate School, Istanbul, 2023.
- [15] Deshmukh, D., Kulkarni, H., Srivats, S. D., Bhanushali, S., More, P. A. Recycling of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS): Review, Polymer Bulletin, April, 81, 2024.

- [16] Olivera, S., Muralidhara, B. H., Venkatesh, K., Gopalakrishna, K., Vivek, S. C. Plating on Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) Plastic: A Review, *Journal of Materials Science*, January, 51, 2016.
- [17] Manish, Gurjar, D., Sharma, S., Akash, Sarkar, M. A Review on Testing Methods of Recycled Acrylonitrile Butadiene-Styrene, *Materials Today*, 5, 2018.
- [18] Ordu, M., Der, O. Yeşil Üretim İçin Çevresel Etki Temelli Termoplastik Malzeme Seçimi: Karşılaştırmalı Bir Hibrit ÇKKV Yaklaşımı, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 39,1, 2023.
- [19] Peterson, M. A., Review of Acrylonitrile Butadiene Styrene in Fused Filament Fabrication: A Plastics Engineering-Focused Perspective, *Additive Manufacturing*, 27, 2019.
- [20] Díez-Pascual, M. A., Gascón, D., Carbon Nanotube Buckypaper Reinforced Acrylonitrile–Butadiene– Styrene Composites for Electronic Applications, *Applied Materials & Interfaces*, 5, 2013.
- [21] Al-Saleh, H. M., Al-Saidi, A. B., Al-Zoubi, M. R. Experimental and Theoretical Analysis of The Mechanical And Thermal Properties Of Carbon Nanotube/Acrylonitrile-Styrene-Butadiene Nanocomposites, *Polymer*, April, 89, 2016.

Stream Flow Prediction for Murad River Branches

Ibrahim A. HASAN¹, Mehmet Ishak YUCE²

¹*Gaziantep University, Civil Department, Türkiye – ORCID ID 0009-0002-4932-8771.*
Ibrahim.a.blbas@gmail.com

²*Gaziantep University, Civil Department, Türkiye – ORCID ID 0000-0002-6267-9528.*
yuce@gantep.edu.tr

ABSTRACT

Effective planning and management of water resources rely on addressing the uncertainties inherent in hydrological models. A key challenge in accurately assessing a basin's water resources is the limited availability of data for hydrologic modeling. This study employs a multiple linear regression (MLR)-based approach to predict streamflow (Q) by analyzing its relationships with temperature (T), potential evapotranspiration (PET), and precipitation (P), excluding topographical parameters of the study area. The research explores and compares the performance of four MLR models applied to four sub-basins that contribute to the Murad River Basin. The analysis utilizes recorded monthly data from meteorological stations spanning 40, 30, 29, and 33 years for Models 1, 2, 3, and 4, respectively, covering the dependent variable (Q) and independent variables (T, P, and PET). The comparison between observed and predicted streamflow (Q) demonstrates promising results, highlighting the significance of the proposed equation. The highest coefficient of determination (R^2) achieved is 21.86% for Model 3, while Model 1 shows an F-ratio exceeding 45. Additionally, the P-value is zero across all models, underscoring the statistical significance and overall effectiveness of the study. The findings of this study offer critical insights for decision-makers by presenting a data-driven methodology for streamflow prediction in data-scarce regions. By showcasing the effectiveness of MLR models, this research facilitates the development of enhanced water resource management strategies, promoting improved planning and the sustainable utilization of basin water resources.

Keywords: Prediction, Stream Flow, MLR, Murad basin, R^2 .

1. INTRODUCTION

Hydrological modeling is a keystone of water resource research and planning for major river basins. These models are essential for understanding the historical and current states of water resources and for evaluating the implications of management decisions and

environmental changes, including climate change. However, a significant challenge is that many basins worldwide are ungauged or poorly gauged (Razavi et al., 2016). Ungauged basins, defined as those without streamflow observational data (Bahru et al., 2023), underscore the need for reliable regionalization models to estimate streamflow time series in such watersheds. In hydrological studies, regionalization refers to the process of transferring hydrological information from gauged to ungauged watersheds (Sivapalan et al., 2003). Numerous regionalization approaches have been proposed in the literature, with regression analysis being among the most widely used. This technique simulates the relationships between model parameters and physiographic catchment characteristics (Young, 2006; Reichl et al., 2009). Many methods also incorporate geographic considerations, assuming that adjacent or nested catchments share similar hydrological behaviors (Merz and Blöschl, 2004; Parajka et al., 2005; McIntyre et al., 2005; Oudin et al., 2008; Kjeldsen and Jones, 2007). Streamflow generation is influenced by both known factors such as precipitation, evaporation, and temperature and unknown factors, making precise predictions inherently challenging (Jun Guo et al., 2011). To address these challenges, multiple linear regression (MLR) techniques are widely employed for estimating streamflow in ungauged watersheds. Initially developed for gauged basins, MLR uses a data-driven approach to establish relationships between dependent and independent variables (Cibin et al., 2013; Waseem et al., 2015; Li and Sankarasubramanian, 2012). MLR models have found diverse applications in hydrology, such as linking drought indices to circulation indices (Li et al., 2023), simplifying large water quality datasets (Jafar, 2022), and predicting outcomes with high accuracy in river excellent assessments (Gupta et al., 2021). These findings have implications for effective water management strategies. The utility of MLR extends to ensemble modeling, where multiple climatological inputs, hydrological model parameters, or rainfall-runoff structures are combined to reduce prediction uncertainties (He et al., 2009; McIntyre et al., 2005; Velázquez et al., 2010). Notably, Arsenault and Brissette (2014) developed a regression-augmented (RA) regionalization method that integrates MLR, outperforming other techniques like parameter sampling (PS) and spatial proximity (SP). In statistical hydrology, observational climate indices are often regressed to predict hydrological variables (Mendoza et al., 2017; Robertson et al., 2013). Monthly climate data are

frequently transferred from gauged to ungauged catchments to support streamflow estimation (Sharad Patel et al., 2016). Studies concentrating on streamflow forecasting consistently highlight the simplicity, speed, and reliability of MLR methods (Zhang et al., 2018; Lima et al., 2015).

This research focuses on predicting streamflow for ungauged stations using climate variables average monthly (T_{avg}), (PET), and (P) without considering geographic properties. The study area includes nine ungauged basins and four gauged basins feeding the Murad River. The goal is to derive an MLR equation to establish relationships between the dependent variable, streamflow (Q), and the independent variables (T_{avg} , PET, and P) in gauged catchments to be applied for predicting streamflow of ungauged watersheds in the same area.

2. STUDY AREA

The Murad River Basin, located in southeast Turkey (between Latitude $38^{\circ}0'0''$ to $41^{\circ}0'0''$ N and Longitude $39^{\circ}0'0''$ to $43^{\circ}0'0''$ E), was selected as the study area for this research. The Murad River is one of the two primary tributaries that feed the Euphrates River, as depicted in Figure 1.

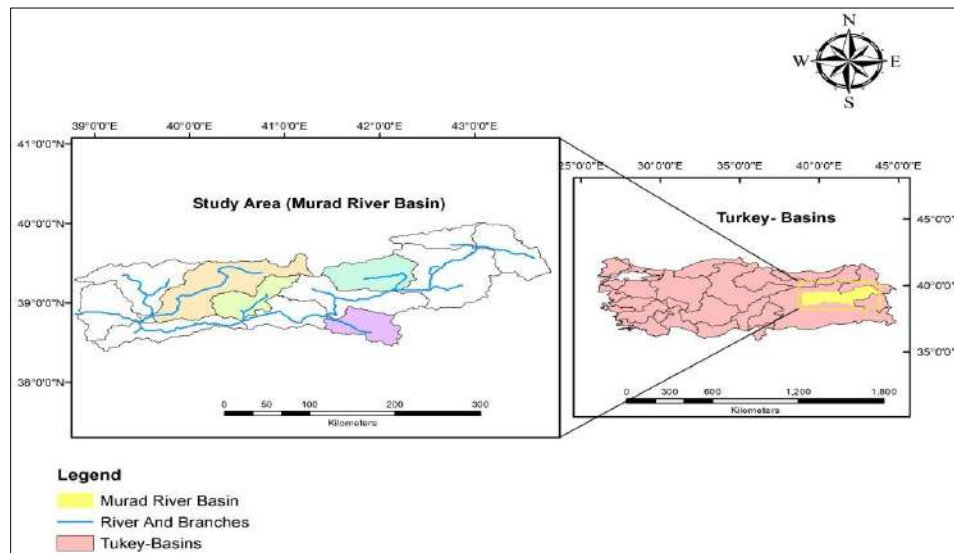


Figure 1. Murad River Basin Among Turkey Basins

A Geographic Information System (GIS)-based hydrological analysis was employed to extract geographic data and delineate the Murad River Basin into thirteen distinct sub-

basins. Among these, four sub-basins are gauged. Figure 2 illustrates the delineated regions and associated details, which are further summarized in Table 1.

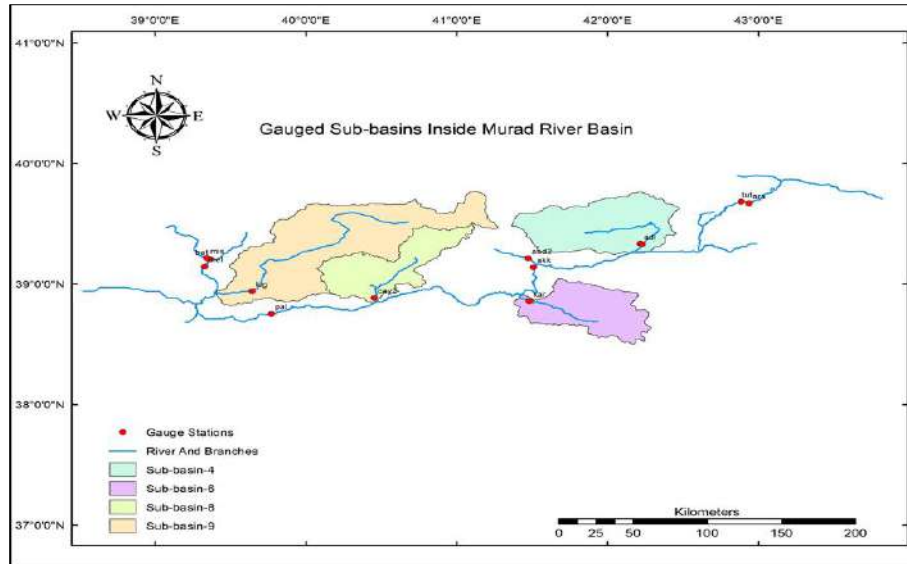


Figure 2. Study Areas Along Murd River And Their Gauge Stations

In general, the climatic conditions of the four sub-basins are comparable to those of the Murad River Basin. The region is characterized by high temperatures, summer rainfall, and an experimental Mediterranean seasonal pattern, marked by hot summers, cold winters with snowfall, and a monsoonal influence resembling the seasonal patterns of South and Southeast Asia. The majority of precipitation occurs between November and April. Previous studies have reported that the average annual precipitation in the basin ranges from 350 to 1,010 millimeters, although this varies depending on the specific location within the region (Fattah and IMi, 2015).

Table 1. Geographical Information About Study Areas

<i>Sub-basins</i>	<i>Guage ID</i>	<i>Area km²</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>
8	Göynük Ç. Çayağzi	2320	38.7648-39.3761	40.2075-41.1623
4	Hinis Ç. Adivar	3176	39.1368-39.6130	41.3880-42.4035
6	Karasu Karakopru	2259	38.4548-39.9558	41.4028-42.2336
9	Peri S. Logmar	5836	38.7487-39.6167	39.5863-41.3049

3. DATA and METHODS

Data collection methods can vary across countries, depending on the objectives of the study (Terakawa, 2003). For this research, the data employed includes a 12x12 m digital

elevation model (DEM) obtained from the US Geological Survey (USGS). Mean monthly temperature and precipitation data were collected for the study's four models over different time periods: Model-1 (1979–2018), Model-2 (1986–2015), Model-3 (1979–2007), and Model-4 (1979–2011). These records were gathered from eight meteorological stations located within and around the sub-basins. Table 2 provides a detailed list of the meteorological stations, including their coordinates and serial numbers. The data set is sufficiently robust to facilitate a comprehensive analysis and evaluation for this research.

Table 2. List of the Meteorological Stations around Murat Basin

<i>No</i>	<i>SN</i>	<i>Meteorological Station ID</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
1	17203	Bingöl	38.8847	40.5007
2	17776	Solhan	38.9597	41.0503
3	18176	Kığı	39.3086	40.3458
4	17208	Bitlis	38.475	42.1625
5	17810	Ahlat	38.7487	42.475
6	17690	Horasan	40.0415	42.173
7	17740	Hınıs	39.3688	41.6957
8	17204	Muş	38.7509	41.5023

The Thiessen polygon method was utilized for spatial interpolation in ArcGIS to create polygons around each meteorological station coordinate (Figure 3), based on their proximity to other points. This approach offers a spatial representation of catchment zones (Hasan and Yuce 2024). The method operates on the principle that the meteorological station measurement represents the most accurate estimate of temperature and precipitation for the area closest to it compared to other stations (Naoum and Tsanis, 2004). By integrating the concepts of proximity with a gradual trend surface change, Thiessen polygons provide a practical spatial interpolation technique (Hartkamp et al., 1999). Meteorological data spanning at least twenty-one years were collected from eight stations located both within and outside the research area. These stations were geospatially positioned on a digital elevation model, and a Thiessen polygon network was generated around them (Figure 3). Employing a fine grid enabled an accurate delineation of the polygons (Kwadijk et al., 1999), helping to determine their relative distances and influence on the nearest sub-basins. Spatial interpolation techniques, such as the Thiessen polygon

method, have been widely applied to estimate meteorological data in areas where direct measurements are unavailable (Chai et al., 2011).

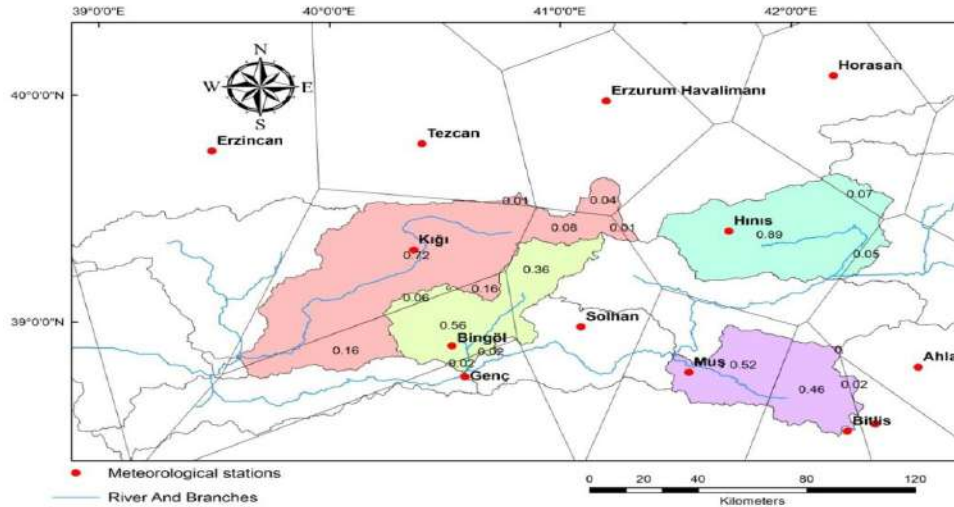


Figure 3. Thiessen Polygon Method by ArcMap. Interpolation using Thiessen polygons and inverse effective weight averaging to predict precipitation and temperature.

Furthermore, weighted temperature and precipitation values were calculated based on the ratio of the affected area to the total area of the sub-basins. These calculations assess the influence of specific meteorological stations on the temperature and precipitation within each sub-basin, as illustrated in Table 3. The resulting data is then integrated to estimate the overall variations in temperature and precipitation across the entire sub-basin.

Table 3. Effective Weight of Meteorological Stations on The Sub-Basins

<i>Models</i>	<i>Sub-basins</i>	<i>Area</i>	<i>Eff. Weight</i>	<i>Met. Stations</i>
Model 1	Sub-Basin 8	2320	0.36	SOLHAN
			0.08	KIĞI
			0.56	BİNGÖL
Model 2	Sub-Basin 4	3176	0.88	HINIS
			0.07	HORASAN
			0.05	AHLAT
Model 3	Sub-Basin 6	2259	0.53	MUŞ
			0.47	BITLIS
Model 4	Sub-Basin 9	5836	0.1	SOLHAN
			0.73	KIĞI
			0.17	BİNGÖL

The Thornthwaite equation was employed to calculate potential evapotranspiration (PET) based on temperature and latitude (Anggraini & Slamet, 2021). This equation, widely used for estimating monthly PET, was applied in this study. Recorded temperature data served as the basis for determining the monthly potential evapotranspiration timeframes (Azman et al., 2022).

3.1. Multiple- Linear Regression (MLR)

Multiple Linear Regression (MLR) is a statistical analysis method widely employed to study the relationships between hydrological parameters (Waseem et al., 2015). In this study, discharge data is used as the dependent variable, while the independent variables include temperature, precipitation, and potential evapotranspiration. Simple Linear Regression (SLR) establishes the relationship between a response (dependent) variable and an explanatory (independent) hydrological variable by minimizing the squared residuals. MLR expands upon SLR by incorporating two or more independent variables, enabling a more comprehensive analysis. The general form of the MLR model can be expressed as:

$$Y = C + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \dots + \beta_eX_e \dots \dots \dots (1)$$

Where: Y = Dependent variable; C = Constant; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_e$ = Slope coefficient, X₁, X₂, X₃, X_e = independent variable, e= Number of independent variables.

Statgraphics version 19 was employed to derive the MLR equations, aiming to identify the optimal relationship between Q and other climatic variables. In this analysis, Q serves as the dependent variable, while P, T_{avg}, and PET are considered independent variables. The MLR equations were developed for four distinct locations using respective datasets. The structure of these equations is presented in Table 4.

Table 4. Multiple Linear Regression Equations and Limitation Factors

<i>Models</i>	<i>Multiple Linear Regression Equation</i>	<i>P-value</i>	<i>F-test</i>	<i>R²-adj</i>
1	$Q = 2.3530 + 4.159T_{avg} - 0.667473PET + 0.322P$	p=0.00	45.14	0.2169
2	$Q = 14.176 + 1.998 T_{avg} - 0.3429PET + 0.383P$	p=0.00	30.57	0.1981
3	$Q = 3.976 0+ 2.799T_{avg} - 0.463PET + 0.237P$	p=0.00	33.37	0.2186
4	$Q = -16.545+ 4.842T_{avg} - 0.2761PET + 0.787P$	p=0.00	29.66	0.1787

The MLR model can be applied to predict and analyze relationships between dependent and independent variables (Jafar, 2023). It has been employed to quantify the relationship monthly D (the response variable) and the particular major circulation indicators (the predictor variable) (Srisomkiew et al., 2021).

3.2. Analysis of the Variables

Statgraphics was applied to develop a regression model relating the dependent variable (Q) to the independent variables (Tavg, P, and PET) using data from the entire study period for each model: Model 1 (1979–2018), Model 2 (1986–2015), Model 3 (1979–2007), and Model 4 (1979–2011). The analysis involved evaluating each independent variable to determine their Standard Error, T-statistics, P-values, and other associated limitations (see Table 5). These parameters were utilized to assess the statistical significance and influence of each independent variable on the regression equation, thereby determining their overall effect on streamflow prediction.

Table 5. Analysis of the Independent Variables

<i>Models</i>	<i>Parameter</i>	<i>Number of observations</i>	<i>Estimate</i>	<i>Standard Error</i>	<i>T-Statistic</i>	<i>P-Value</i>
1	Constant	479	2.35371	5.54213	0.424694	0.6713
	Temperature		4.15915	0.645764	6.44066	0
	PET		-0.66747	0.118635	-5.62626	0
	Precipitation		0.322097	0.0420513	7.65964	0
2	Constant	360	14.1768	4.55873	3.10981	0.002
	Temperature		1.99826	0.497704	4.01496	0.0001
	PET		-0.34298	0.113545	-3.02064	0.0027
	Precipitation		0.383187	0.0518597	7.38892	0
3	Constant	348	3.97619	5.35442	0.742599	0.4582
	Temperature		2.79989	0.543	5.15633	0
	PET		-0.46364	0.111213	-4.16893	0
	Precipitation		0.237735	0.0356123	6.67566	0
4	Constant	396	-16.5451	12.4679	-1.32702	0.1853
	Temperature		4.84293	1.68581	2.87277	0.0043
	PET		-0.27615	0.319658	-0.86389	0.3882
	Precipitation		0.787864	0.0915606	8.60483	0

3.3. Relation Between Variables

The independent variables, including temperature (T), precipitation (P), and potential evapotranspiration (PET), influence the regression equation based on their respective relationships with the dependent variable (Q). Temperature exhibits a strong positive relationship with Q, while precipitation also positively impacts the equation. Conversely, potential evapotranspiration demonstrates a negative influence on the equation, as illustrated in Figure 4.

Figure 4 shows the consequence of three independent variables T_{avg} , PET, and P on Q in MLR equations for four models (Model-1 to Model-4). For Model-1, a positive linear trend is observed between T_{avg} and discharge, suggesting that higher temperatures are associated with increased discharge, although the moderate scatter indicates variability in the relationship. PET displays a negative correlation, indicating that increased evapotranspiration reduces discharge, while P shows a strong positive relationship, with higher precipitation values leading to increased discharge and a stronger correlation compared to temperature and PET. Model-2 similarly reveals a positive trend between T_{avg} and discharge, with slightly stronger correlation compared to Model-1. However, PET demonstrates only a weak negative trend, and the scatter suggests limited effect on discharge. P retains its positive relationship with discharge but shows moderate correlation with some outliers. In Model-3, the positive relationship between T_{avg} and discharge is consistent, with moderate scatter around the trend line. PET's negative correlation is more pronounced than in Model-2, indicating a stronger inverse effect on discharge despite high scatter. P has the most significant influence, with a positive correlation and reduced scatter compared to other variables. Model-4 follows a similar pattern, with a clear positive trend between T_{avg} and discharge but broader variability. The negative correlation with PET persists but is less strong than in Model-3, while P exhibits a robust positive relationship with a wider range of discharge values, underscoring its dominant influence.

In general, T_{avg} consistently shows a positive relationship with discharge, prospective reflecting indirect effects such as snowmelt or seasonal dynamics. PET negatively influences discharge by increasing water loss, with variable impact across models. P

emerges as the principal driver of discharge variations, with its strong positive correlation apparent in all models, particularly Model-4. These findings emphasize the dominant role of P in determining discharge and highlight the varying influence of temperature and PET based on model characteristics.

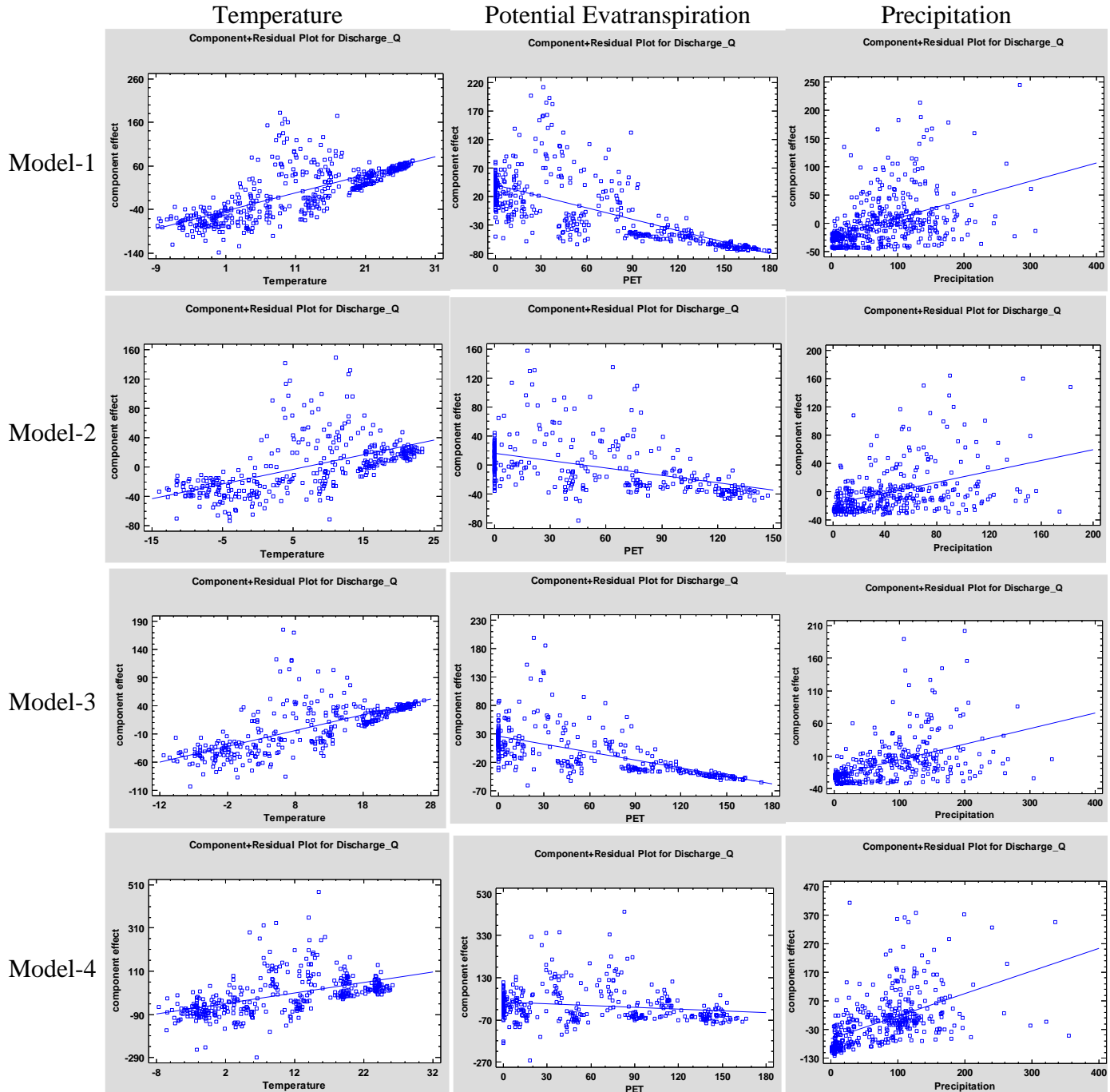


Figure 4. The effect of independent variables (Tavg, PET, P) on the Q in MLR equation

4. RESULT AND DISCUSSION

Similar models correlating average (T_{avg}), (PET), and (P), and runoff have been developed and illustrated using various graphs (Figure 5). To compare these models, performance indicators such as the F-ratio, P-value, correlation coefficient (R), standard error (SE), mean absolute error (MAE), and Durbin-Watson statistics were evaluated and are presented in Table 6. Among these indicators, the F-ratio, P-value, and correlation coefficient (R) are considered the most reliable for selecting the best-fit equation.

Table 6. Performance of the MLR Models

<i>Models</i>	<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>	<i>R²-adj</i>	<i>MAE</i>	<i>SE</i>	<i>Durbin-Watson Static.</i>
1	Model	226019	3	75340	45.14	0	0.2169	27.067	40.85	1.06
	Residual	792702	475	1668.9						
	T. Corr.	1.02E+06	478							
2	Model	90187.5	3	30063	30.57	0	0.1981	21.398	31.358	0.995
	Residual	350069	356	983.34						
	T. Corr.	440257	359							
3	Model	99170.1	3	33057	33.37	0	0.2186	19.735	31.47	1.06
	Residual	340721	344	990.47						
	T. Corr.	439891	347							
4	Model	562701	3	187567	29.66	0	0.1787	55.2	79.52	0.851
	Residual	2.48E+06	392	6324.1						
	T. Corr.	3.04E+06	395							

All models are statistically significant based on their P-values, with significance determined at the $p < 0.05$ level and high significance at the $p < 0.01$ level. Considering these thresholds, all models are deemed highly significant. Furthermore, the F-ratio values recorded high levels, particularly for Model-1 and Model-3. Based on the performance metrics and evaluation results, Model-1 was selected as the best fit for this study (Table 6). Table 6 also appraises the performance of four MLR models using metrics such as adjusted R^2 , MAE, SE, and the Durbin-Watson statistic. Model 3 performs best, explaining 21.86% of variability (highest R^2) with the lowest MAE (19.735) and SE (31.47), and minimal autocorrelation (1.06). Model 4 is the weakest, with the lowest R^2 (17.87%) and highest errors (MAE 55.2, SE 79.52). All models are statistically significant, but improvements are needed to enhance accuracy and reduce residual autocorrelation. However, Model 1

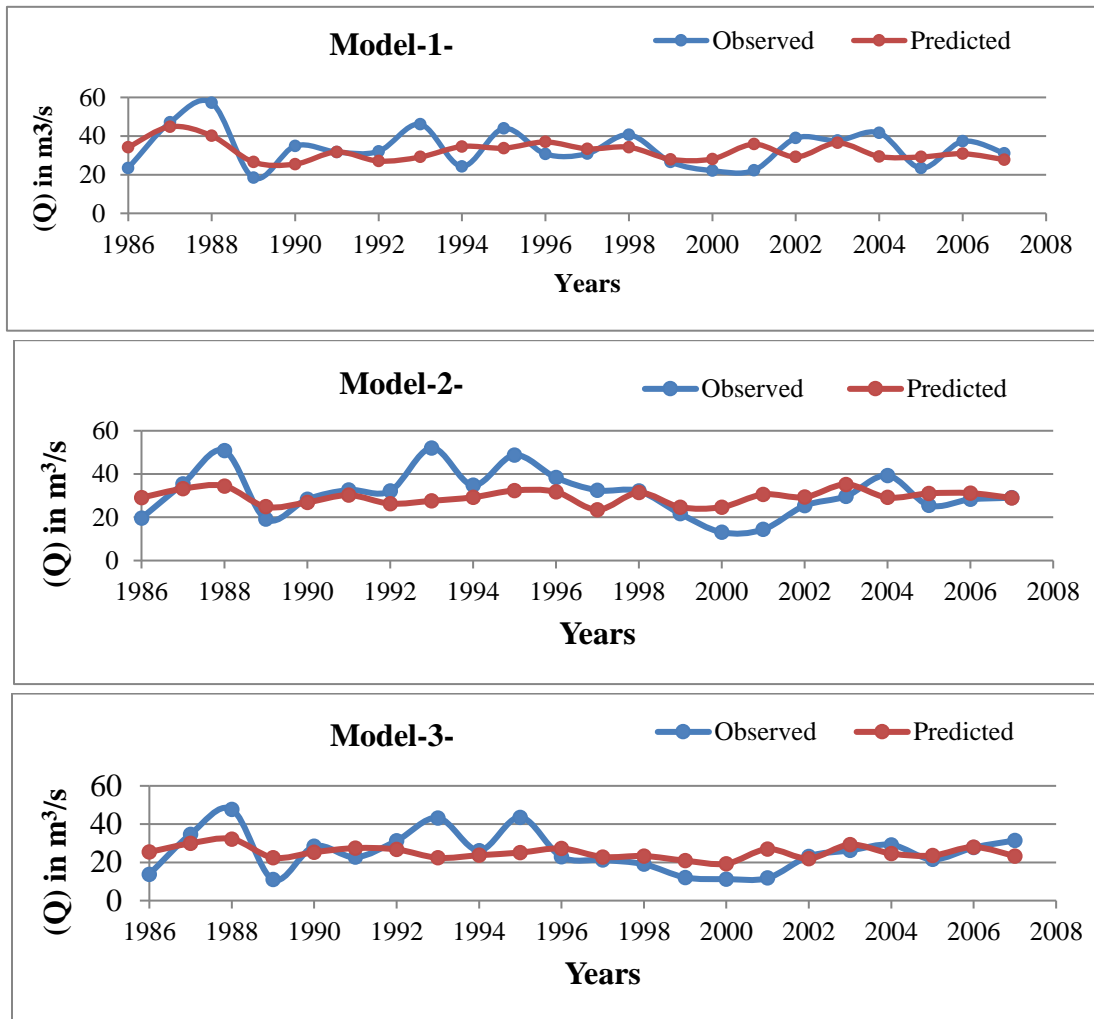
exhibits the highest F-ratio (45.14) among all models and a relatively high R^2 value of 21.69%, suggesting it outperforms the other models in explaining discharge variability.

4.1. Evaluation of the Models

Multiple Linear Regression (MLR) equations were developed to predict streamflow using monthly data, with average (Tavg), (P), and (PET) as independent variables, and streamflow (Q) as the dependent variable. The models were applied to four sub-basins: Model-1, which covers 40 years of data for Sub-basin 8 with the Göynük Ç. Çayağı gauge; Model-2, which spans 30 years for Sub-basin 4 with the Hınıs Ç. Adivar gauge; Model-3, covering 29 years for Sub-basin 6 with the Karasu Karakopru gauge; and Model-4, which includes 33 years of data for Sub-basin 9 with the Peri S. Logmar gauge. The predicted streamflow values from these models were compared with observed data recorded at the respective gauge stations. As shown in Figure 5, the predicted streamflow values closely align with the observed values, with any variations generally falling within the mid-range of the observed streamflow data.

The comparison of observed and predicted discharge values for four models (Model-1, Model-2, Model-3, and Model-4) from 1986 to 2007 highlights their strengths and limitations in capturing discharge patterns (Figure 5). Model-1 demonstrates high variability in observed discharge, with peaks in the late 1980s and mid-1990s, while predicted values follow the general trend but appear smoother, often underestimating peaks and overestimating low flows. Model-2 captures the overall declining trend in observed discharge, which exhibits moderate variability and peaks between 1988 and 1994; however, the predictions lag in responding to extremes and smooth out fluctuations. Model-3 shows similar variability, with pronounced peaks and drops before 1995, after which discharge stabilizes. Predictions for this model align better post-1995 but miss earlier sharp fluctuations. Model-4 operates on a larger discharge range, with observed values peaking around 160 m³/s and showing significant variability in the late 1980s and early 1990s, followed by a declining trend and reduced variability post-1995. While the predicted values follow the general trend, they underestimate peaks and overestimate low-flow periods. Generally, all models capture general trends but differ in their ability to replicate extreme events, with Model-4 reflecting a distinct hydrological regime. The

smoothing effect in predictions suggests the models prioritize minimizing overall error at the expense of accuracy during extreme events. Enhancing these models by incorporating additional parameters, such as precipitation, temperature, or land use changes, and employing advanced techniques like ensemble modeling or machine learning calibration could improve predictive accuracy, while performance metrics such RMSE and MSE would provide a quantitative assessment of their effectiveness.



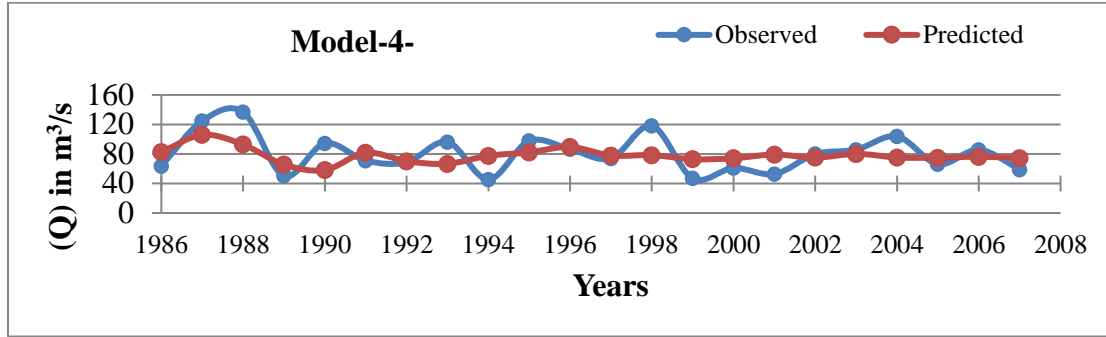


Figure 5. predicted and observed Discharge from 1986 to 2007

The predicted Q from the figure 5 is significantly located in between the observed Q in all models, while model-1- is considered to be the best fit according to the limitations. After driving the best-fit equation for predicting the stream flow through model-1, the equation was applied to the ungauged sub-basins according to their area (Table 7) which is show the difference between area of each sub-basin with based model sub-basin 8 adjusted Area-factor were multiplied by monthly predicted value of stream flow for each sub-basins, while for gauged sub-basins no need to area-factor because they have gauge already no need to prediction.

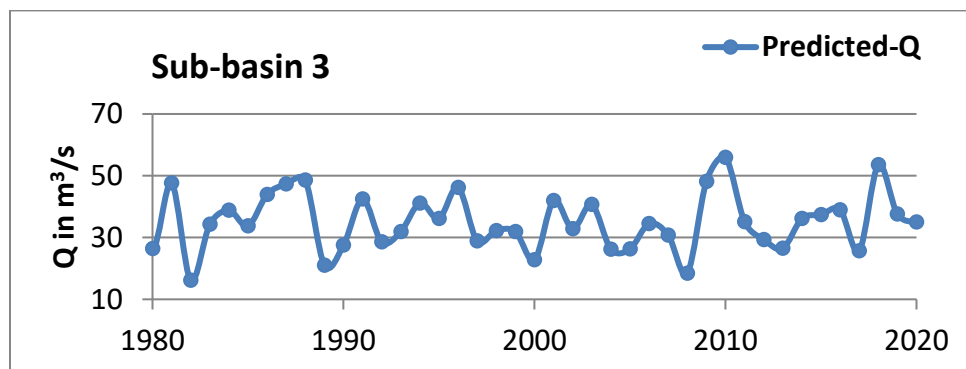
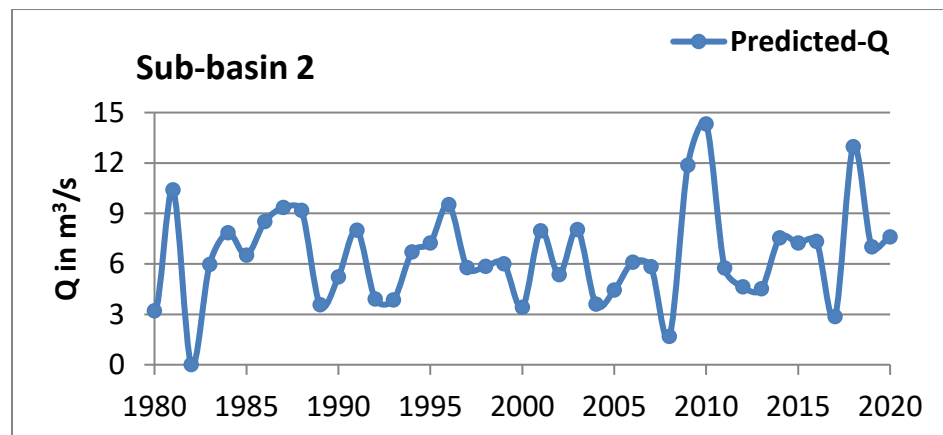
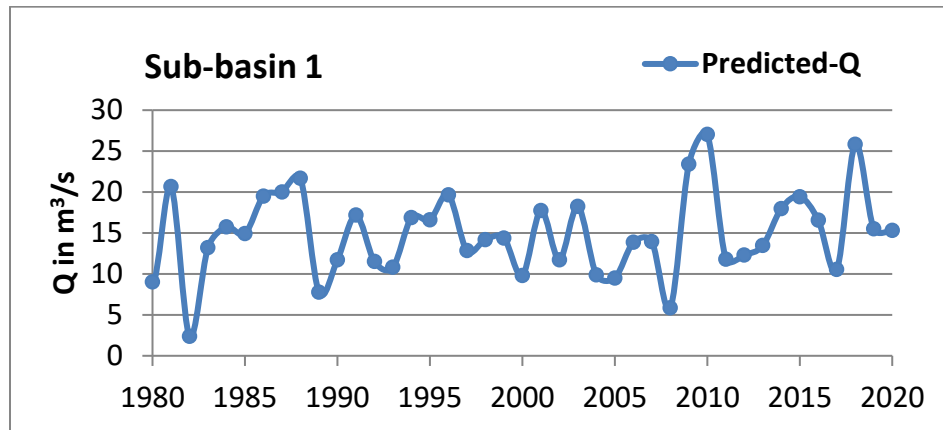
Table 7. Adjusted Factor for the Discharge According to their Area

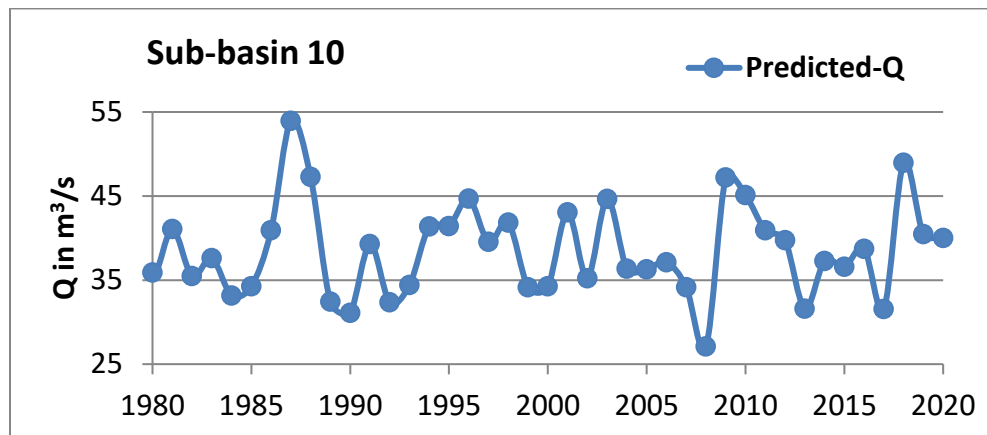
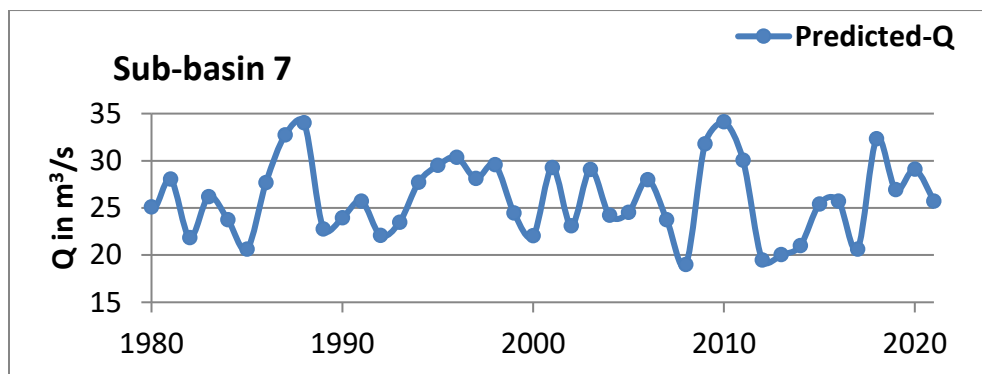
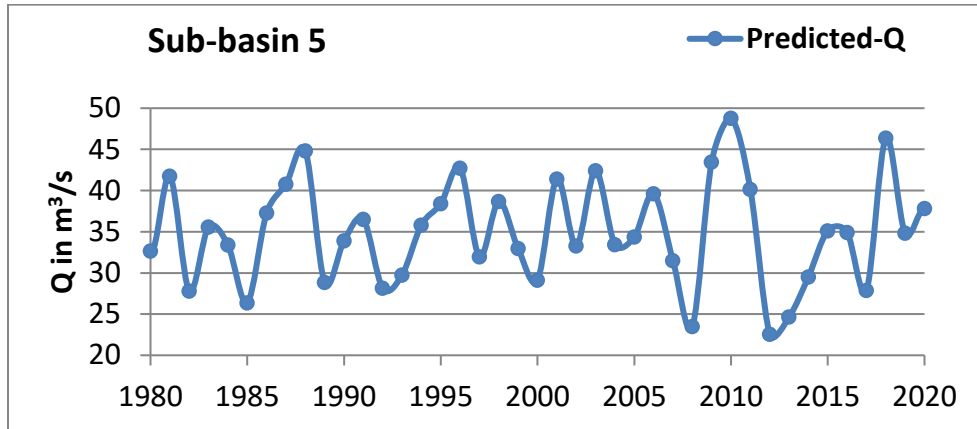
No	Sub-Basins	Area in km ²	Area Sub-basin8 in km ³	Area-factor
1	Sub-Basin 1	2957	2320	1.275
2	Sub-Basin 2	1601	2320	0.690
3	Sub-Basin 3	5989	2320	2.581
4	Sub-Basin 4	3176	2320	Available
5	Sub-Basin 5	4047	2320	1.744
6	Sub-Basin 6	2259	2320	Available
7	Sub-Basin 7	2437	2320	1.050
8	Sub-Basin 8	2320	2320	Available
9	Sub-Basin 9	5836	2320	Available
10	Sub-Basin 10	2839	2320	1.224

11	Sub-Basin 11	4039	2320	1.741
12	Sub-Basin 12	137	2320	0.059
13	Sub-Basin 13	3058	2320	1.318

The figure 6 presents the predicted discharge (Q) in cubic meters per second (m³/s) for 13 sub-basins over the period from 1980 to 2020, highlighting significant temporal fluctuations. In Sub-basin 1, discharge ranges from 0 to 27 m³/s, with distinct peaks around 2010 and 2016, suggesting irregular high-flow events that may be associated with extreme weather conditions or hydrological anomalies. Sub-basin 2 exhibits a similar trend, with discharge varying between 0 and 15 m³/s, and notable peaks occurring in the early 2010s and towards the end of the period, indicating episodes of elevated flow, potentially linked to sudden rainfall events or snowmelt. Sub-basin 3 maintains relatively stable flow, fluctuating between 0 and 55 m³/s, though occasional increases in flow after 2010 may reflect changes in land use or evolving hydrological conditions. In Sub-basin 5, discharge fluctuates between 10 and 50 m³/s, with pronounced peaks in the late 1990s, early 2000s, and around 2010, suggesting significant hydrological events during these periods. Sub-basin 7 displays seasonal variability, with discharge oscillating between 15 and 35 m³/s and notable spikes in the 1990s and again in 2010, likely reflecting climatic shifts such as alterations in rainfall patterns or temperature. Sub-basin 10 shows considerable fluctuations between 25 and 55 m³/s, with significant peaks in 1986 and 2016, potentially indicating major hydrological changes resulting from drought conditions or extreme rainfall events. In Sub-basin 11, discharge remains steady between 15 and 30 m³/s, with minor fluctuations and a slight increase in flow during the 2016s, suggesting relatively stable conditions with occasional disturbances. Discharge in Sub-basin 12 ranges from 1 to 2.5 m³/s, with intermittent stability disrupted by sudden surges, particularly after 2015, possibly reflecting changes in upstream water management practices or alterations in hydrological cycles. Lastly, Sub-basin 13 exhibits discharge between 15 and 35 m³/s, with notable peaks in the early 2000s and around 2015, displaying similar fluctuations to Sub-basin 12, likely indicative of regional hydrological processes, including precipitation variability. Overall, the predicted discharge data for all sub-basins demonstrate

considerable temporal variability, with intermittent high-flow events that may be influenced by a combination of climatic factors, hydrological processes, and water management practices. While some sub-basins show relative stability, others experience more pronounced fluctuations, suggesting diverse watershed characteristics, such as land use, topography, and hydrological conditions, all contributing to the observed trends.





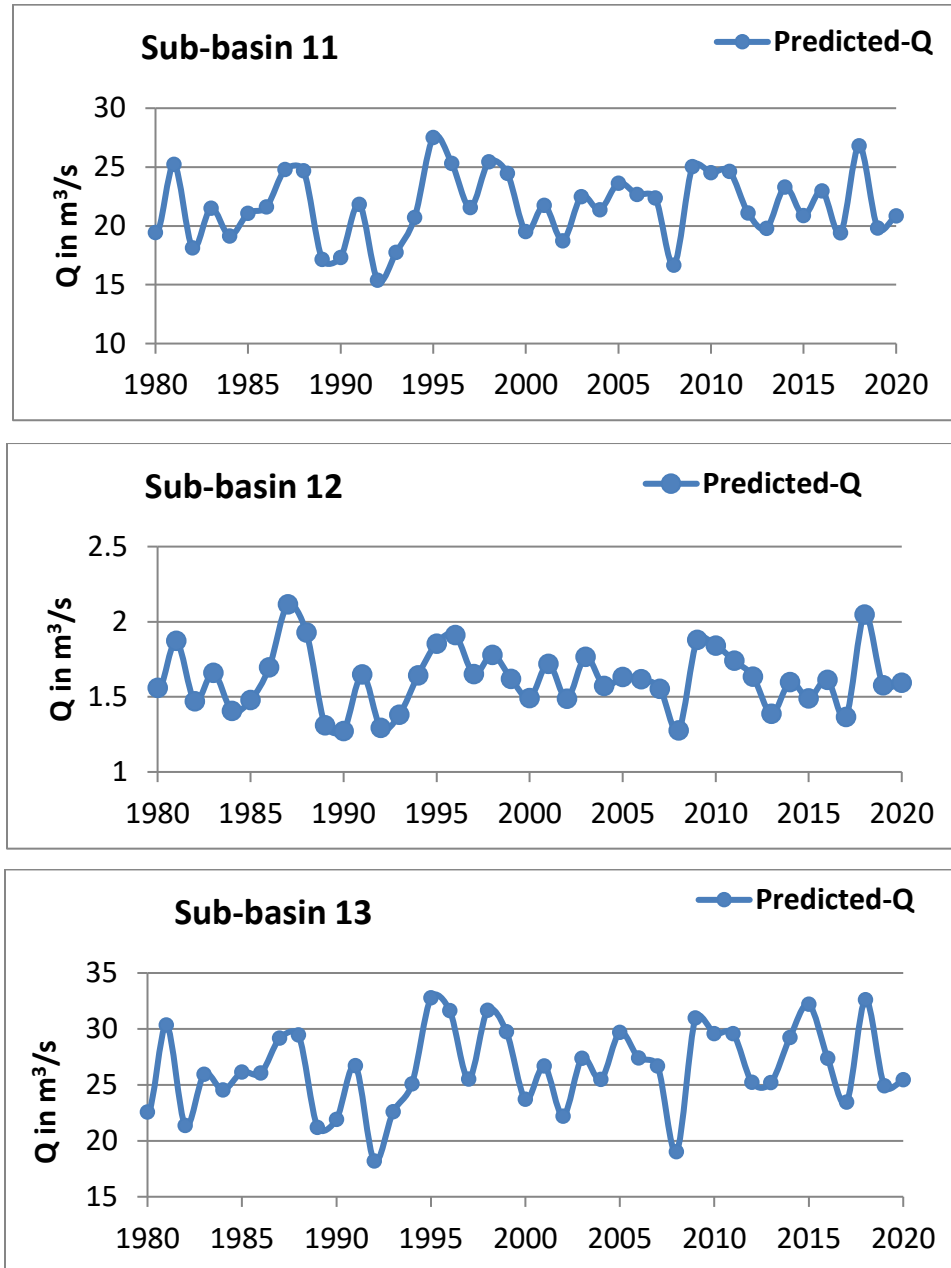


Figure 6. Predicted Stream Flow for ungauged Sub-basins using MLR model 1. Depending on the available Sub-basin's monthly climate variables

5. CONCLUSION

A statistical analysis-based MLR was developed to predict streamflow in the Murad River basin without considering topographic parameters. This analysis utilized monthly data for Q, P, and T_avg over different time periods: 40 years for Model-1, 30 years for Model-2, 29 years for Model-3, and 33 years for Model-4. The different independent variables were

used as input to establish mathematical relationships for streamflow prediction, resulting in four distinct MLR equations. The MLR models demonstrated high performance with the available data, generating four different scenarios based on variations in the datasets. Model-1, developed for Sub-basin 1, which has an area of approximately 2,320 km², was identified as the best-fit equation. This sub-basin's gauge station, Göynük Ç. Çayağzi, provided the data for the model. Model-1 exhibited an R² value of 21.69%, a mean absolute error (MAE) of 0.27, an F-ratio of 45.14, and a P-value of 0, indicating a highly significant equation. Among the remaining models, Model-3 was the second-best option, followed by Model-2 and Model-4. The Murad River basin is divided into 13 sub-basins, most of which lack gauge stations. This study provides a reliable approach for streamflow prediction, especially using Model-1, given the availability of temperature and precipitation data from meteorological stations in the region. This study highlights MLR models as effective tools for streamflow prediction, aiding decision-makers in developing sustainable water resource management strategies for data-scarce regions.

REFERENCES

- Anggraini, N., & Slamet, B. (2021). Thornthwaite Models for Estimating Potential Evapotranspiration in Medan 592 City. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Doi [10.1088/1755-1315/912/1/012095](https://doi.org/10.1088/1755-1315/912/1/012095), published: 2021.
- Arsenault, R., & Brissette, F. P. (2014). Continuous streamflow prediction in ungauged basins: The effects of equifinality and parameter set selection on uncertainty in regionalization approaches. *Water Resources Research*, 50(7), 6135-6153. <https://doi.org/10.1002/2013WR014898>, published: 08 July 2014.
- Azman, R., Noor, N., Abdullah, S., & Ideris, M. (2022). Analysis of Drought Index in Sub-Urban Area Using 594 Standard Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI). *International Journal of Integrated Engineering*, 14(9), 595 157-163.
- Chai, H. , Cheng, W. , Zhou, C. , Chen, X. , Ma, X. and Zhao, S. (2011) Analysis and comparison of spatial interpolation methods for temperature data in Xinjiang Uygur Autonomous Region, China. *Natural Science*, 3, 999-1010. doi: [10.4236/ns.2011.312125](https://doi.org/10.4236/ns.2011.312125).
- Cibin, R., Athira, P., Sudheer, K. P., & Chaubey, I. (2013). Application of distributed hydrological models for predictions in ungauged basins: a method to quantify predictive

uncertainty. *Hydrological Processes*, 28(4), 2033-2045. <https://doi.org/10.1002/hyp.9721>, published: 18 January 2013.

Coulibaly, P., Haché, M., Fortin, V., & Bobée, B. (2005). Improving daily reservoir inflow forecasts with model combination. *Journal of Hydrologic Engineering*, 10(2), 91-99. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2005\)10:2\(91\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2005)10:2(91)), March 2005.

Gebeyehu, B. M., Tegegne, G., & Melesse, A. M. (2023). Reliability-weighted approach for streamflow prediction at ungauged catchments. *Journal of Hydrology*, 624, 129935. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129935>, Published September 2023

Guo, J., Zhou, J., Qin, H., Zou, Q., & Li, Q. (2011). Monthly streamflow forecasting based on improved support vector machine model. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 13073-13081. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.114>, published: 15 September 2011.

Gupta, S., & Gupta, S. K. (2021). Evaluation of River Health Status Based on Water Quality Index and Multiple Linear Regression Analysis. In *International conference Sustainable Environmental Engineering and Science* (pp. 77-85). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0823-3_8, Published: 26 April 2023.

Hartkamp, A. Dewi, Kirsten De Beurs, Alfred Stein, and Jeffrey W. White. *Interpolation techniques for climate variables*. Wageningen Agricultural University, Cimmyt, 1999.

Hasan, I. A., & Yuce, M. I. (2024). Prediction of Potential Evapotranspiration via Machine Learning and Deep Learning for Sustainable Water Management in the Murat River Basin. *Sustainability*, 16(24), 11077. <https://doi.org/10.3390/su162411077>, Published: 17 December 2024.

He, Y., et al., 2009, Tracking the uncertainty in flood alerts driven by grand ensemble weather predictions. *Meteorological Applications*, 16 (1), 91–101. <https://doi.org/10.1002/met.132>, published: 19 February 2009.

JAFAR, R. (2022). Assessment of surface water quality by using multivariate statistical techniques. *Tishreen University Journal-Engineering Sciences Series*, 44(4), 11-31.

Jafar, R., Awad, A., Hatem, I., Jafar, K., Awad, E., & Shahrour, I. (2023). Multiple linear regression and machine learning for predicting the drinking water quality index in Al-Seine lake. *Smart Cities*, 6(5), 2807-2827. <https://doi.org/10.3390/smartcities6050126>, Published: 12 October 2023.

- Kjeldsen, T. R., & Jones, D. A. (2007). Recursive estimation of a hydrological regression model. In World Environmental and Water Resources Congress 2007: Restoring Our Natural Habitat (pp. 1-10). [https://doi.org/10.1061/40927\(243\)408](https://doi.org/10.1061/40927(243)408), published, May 2007.
- Kjeldsen, T. R., & Jones, D. A. (2009). An exploratory analysis of error components in hydrological regression modeling. *Water resources research*, 45(2). <https://doi.org/10.1029/2007WR006283>, published: 06 February 2009.
- Kwadijk, J., & van Deursen, W. *Development and testing of a GIS-based water balance model for the Rhine drainage basin*. CHR/KHR. Report no. II-15 de la CHR. January 1999.
- Li, W., & Sankarasubramanian, A. (2012). Reducing hydrologic model uncertainty in monthly streamflow predictions using multimodel combination. *Water Resources Research*, 48(12). <https://doi.org/10.1029/2011WR011380>, published: 15 December 2012.
- Li, Y., Wei, K., Chen, K., He, J., Zhao, Y., Yang, G., ... & Yang, Z. (2023). Forecasting monthly water deficit based on multi-variable linear regression and random forest models. *Water*, 15(6), 1075. <https://doi.org/10.3390/w15061075>, Published: 10 March 2023.
- Lima, A. R., Cannon, A. J., & Hsieh, W. W. (2015). Nonlinear regression in environmental sciences using extreme learning machines: a comparative evaluation. *Environmental Modelling & Software*, 73, 175-188. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.08.002>, published: November 2015.
- McIntyre, N., et al., 2005, Ensemble predictions of runoff in ungauged catchments. *Water Resources Research*, 41 (12), W12434. <https://doi.org/10.1029/2005WR004289>, published: 29 December 2005.
- Mendoza, P. A., Wood, A. W., Clark, E., Rothwell, E., Clark, M. P., Nijssen, B., ... & Arnold, J. R. (2017). An intercomparison of approaches for improving operational seasonal streamflow forecasts. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(7), 3915-3935. <https://doi.org/10.5194/hess-21-3915-2017>. Published, 31 Jul 2017.
- Merz, R., & Blöschl, G. (2004). Regionalisation of catchment model parameters. *Journal of hydrology*, 287(1-4), 95-123. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.09.028>, published: 25 February 2004.
- Naoum, S., & Tsanis, I. (2004). Ranking spatial interpolation techniques using a GIS-based DSS. *Global Nest*, 6(1), 1-20. <https://doi.org/10.30955/gnj.000224>, published: 2004.

Razavi, T., & Coulibaly, P. (2016). Improving streamflow estimation in ungauged basins using a multi-modeling approach. *Hydrological Sciences Journal*, 61(15), 2668-2679. <https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1154558>, Published: 02 Aug 2016

Reichl, J. P. C., Western, A. W., McIntyre, N. R., & Chiew, F. H. S. (2009). Optimization of a similarity measure for estimating ungauged streamflow. *Water Resources Research*, 45(10). <https://doi.org/10.1029/2008WR007248>, published: 17 October 2009.

Robertson, D. E., Pokhrel, P., & Wang, Q. J. (2013). Improving statistical forecasts of seasonal streamflows using hydrological model output. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(2), 579-593. <https://doi.org/10.5194/hess-17-579-2013>, published: 08 Feb 2013.

Seibert, J. and Beven, K.J., 2009, Gauging the ungauged basin: how many discharge measurements are needed? *Hydrology and Earth System Sciences*, 13 (6), 883–892. <https://doi.org/10.5194/hess-13-883-2009>. Published: 22 Jun 2009

Sivapalan, M. (2003). Prediction in ungauged basins: a grand challenge for theoretical hydrology. <https://doi.org/10.1002/hyp.5155>, published: 07 October 2003.

Srisomkiew, S., Kawahigashi, M., & Limtong, P. (2021). Digital mapping of soil chemical properties with limited data in the Thung Kula Ronghai region, Thailand. *Geoderma*, 389, 114942. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.114942>, published: 1 May 2021.

Terakawa, A. *Hydrological data management: Present state and trends*. Secretariat of the World Meteorological Organization, 2003.

Velazquez, J. A., Anctil, F., Ramos, M. H., & Perrin, C. (2011). Can a multi-model approach improve hydrological ensemble forecasting? A study on 29 French catchments using 16 hydrological model structures. *Advances in Geosciences*, 29, 33-42. <https://doi.org/10.5194/adgeo-29-33-2011>, published, 28 Feb 2011.

Waseem, M., Ajmal, M., & Kim, T. W. (2015). Ensemble hydrological prediction of streamflow percentile at ungauged basins in Pakistan. *Journal of Hydrology*, 525, 130-137. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.042>, published: June 2015.

Young, A. R. (2006). Stream flow simulation within UK ungauged catchments using a daily rainfall-runoff model. *Journal of Hydrology*, 320(1-2), 155-172. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.017>, 30 March 2006.



Zhang, Y., Chiew, F. H., Li, M., & Post, D. (2018). Predicting runoff signatures using regression and hydrological modeling approaches. *Water Resources Research*, 54(10), 7859-7878. <https://doi.org/10.1029/2018WR023325>, published: 01 October 2018.

BAZALT GEOGRİDLE DONATILANDIRILMIŞ KİL ZEMİNLERİN KALİFORNİYA TAŞIMA DENEYİ (CBR) SONUÇLARININ İRDELENMESİ

İnşaat Müh. Yusuf DEMİR

Sakarya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (SASKİ)
yusufdemir2011@gmail.com - ORCID ID: 0009-0006-2935-1041

Prof. Dr., İnşaat Y. Müh. Sedat SERT

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
sert@sakarya.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-4114-6132

Arş. Grv., İnşaat Y. Müh. Eylem ARSLAN

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
eylemarslan@sakarya.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-9053-1061

ABSTRACT

Soft clay soils are one of the soil types that are frequently encountered with geotechnical problems such as bearing capacity failure and excessive settlements. There are many methods in the literature for soil improvement. One of these methods is geosynthetics. Geosynthetics perform the functions of separating soil layers, strengthening, filtration, drainage, protection, and erosion control. This paper presents the use of basalt geogrid in reinforcing clay soil and the analysis of the California Transport Test results. Basalt geogrid was preferred in the study because it is an environmentally friendly product obtained from natural rock. In the experiments, sandy low plasticity clay (CL) containing 69% fine was used, the optimum water content was found to be 17%, and the maximum dry unit weight was 16.65 kN/m^3 . Dry and wet CBR tests were carried out on reinforced soil by placing basalt geogrid in 1 and 2 rows. Dry and wet CBR values were obtained as 7.24% and 6.44% for the natural soil, 15.19% and 4.27% when a single row of basalt geogrid is used, and 16.71% and 5.60% when a double row of basalt geogrid is used. In the wet CBR test, swelling amounts were found to be close to each other, around 1.80 mm. It has been determined that in dry conditions, reinforcing with basalt geogrid increases the CBR resistance by 110% in single-use and 130% in double-use. However, when we look at the wet CBR values, it is seen that the decreases are around 11% in the case of non-geogrid, 72% in the case of single geogrid, and 67% in double use. In the wet case, a decrease of 34% in single-use and 13% in double-use compared to the situation without geogrid was determined. In this case, it would not be wrong to say that the strengthening effect of basalt geogrid cannot be seen in the presence of water. After the tests, it was concluded that basalt geogrid can be used as an alternative to different geogrid types, but caution should be taken in cases where the water level is likely to rise.

Key Words: Clay Soil, Soil Reinforcing, Basalt Geogrid, Californiya Bearing Ratio Test.

ÖZET

Yumuşak kil zeminler taşıma gücü aşılması ve oturmaların fazlalığı gibi geoteknik problemlerle sıklıkla karşılaşılan zemin türlerinin başında gelmektedirler. Zemin iyileştirmesine yönelik literatürde çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birisi geosentetiklerin kullanımınıdır. Geosentetikler, zemin tabakalarını ayırma, güçlendirme, filtrasyon, drenaj, koruma ve erozyon kontrolü işlevlerini yerine getirmektedirler. Bu bildiride bazalt geogridin kil zeminin güçlendirilmesinde kullanımı ve sağlanan değişimin Kaliforniya Taşıma Deneyi sonuçlarıyla irdelenmesi aktarılmaktadır. Çalışmada bazalt geogridin tercih edilmesinin nedeni doğal kayaktan elde edilen çevreci bir ürün olmasıdır. Deneylerde %69 ince içeren kumlu düşük plastisiteli kil (CL) kullanılmış, optimum su muhtevası %17 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı $16,65 \text{ kN/m}^3$ bulunmuştur. Bazalt geogridin 1 ve 2 sıra olarak yerleştirilmesiyle donatılan zeminde kuru ve yaş CBR deneyleri gerçekleştirilmiştir. Doğal durumda %7,24 ve %6,44 olarak elde edilen kuru ve yaş CBR değerleri, tek sıra bazalt geogrid kullanıldığında %15,19 ve %4,27, çift sıra bazalt geogrid kullanıldığında %16,71 ve %5,60 olarak elde edilmiştir. Yaş CBR deneylerinde şişme miktarları birbirine çok yakın olmak üzere 1.80 mm civarında bulunmuştur. Kuru durumda bazalt geogrid katkısının CBR direncini tekli kullanımda %110, çiftli kullanımda %130 arttırdığı tespit edilmiştir. Ancak yaş CBR değerlerine bakıldığında düşüşlerin geogrid olmayan durumda %11, tekli geogrid olması durumunda %72 ve çiftli kullanımda ise %67 civarında olduğu görülmüştür. Yaş durumda geogrid olmayan duruma göre tekli kullanımda %34, çiftli kullanımdaysa %13 civarında düşüş belirlenmiştir. Bu durumda bazalt geogridin güçlendirme etkisinin suyun varlığında görülemediğini söylemek yanlış olmayacaktır. Deneyler sonrasında bazalt geogridin farklı geogrid türlerine bir alternatif olarak kullanılabilmesi, ancak su seviyesinin yükselmesi ihtimali olan durumlarda dikkatli olunması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kil Ortam, Zemin Güçlendirme, Bazalt Geogrid, Kaliforniya Taşıma Oranı Deneyi.

1. GİRİŞ

Artan nüfusla birlikte yerleşimlerin geoteknik problemlerin yaşandığı yerlere kayması günümüzün kaçınılmaz bir gerçeğidir. Herhangi bir yere binaların yapılması o bölgeye ulaşım sağlanmasını, alt yapı tesislerinin kurulmasını gerektirmektedir. Bu durumda da zaman içinde taşıma gücü aşılması, oturmaların kabul edilemez düzeye çıkması, ortam zeminlerinin depremler sırasında sıvılaşması veya yumuşaması, kayalık ancak eğimli arazilerde farklı oturma problemi gibi çok sayıda geoteknik problem ortaya çıkmaktadır. Herhangi bir yapılaşma öncesi ortam zeminlerinin incelenmesi ile olası problemlerin ortaya konması sonrasında iyileştirme seçeneği bodrum yapma, kazıklı temel yapma, destek sistemleri oluşturma gibi önlemlere alternatif olabilmektedir. Literatürde ve uygulamada çok sayıda iyileştirme çeşidi ve sınıflandırma yaklaşımları bulunmaktadır. İyileştirme yaklaşımlardan birinde Hausmann (1990), iyileştirme yöntemlerini mekanik, hidrolik, fiziksel-kimyasal, katkılı-yapısal destekli ve kitleyi kısıtlayarak özellikleri iyileştiren yöntemler olarak ayırmıştır. Bir geosentetik türü

olan geogridlerin kullanımı yapısal destek sağlaması açısından öne çıkmaktadır. Birçok dayanma yapısı ve ulaştırma yapıları ile ilgili problemlerde geogridler taşıma gücünü artırıcı olarak kullanılabilir. Genel manada geosentetikler, zemin tabakalarını ayırma, güçlendirme, filtrasyon, drenaj, koruma ve erozyon kontrolü işlevlerini yerine getirmektedirler. Bu çalışmada doğal bir malzeme olan bazalt kayasından üretilmiş geogridler kil zemine eklenerek Kaliforniya Taşıma Deneyleri yapılmış ve etkileri tartışılmıştır.

2. GEOGRİD İLAVESİ İLE ZEMİN İYİLEŞTİRME ÖRNEKLERİ

Eğimli bir ortamda inşa edilen sürekli temellerin taşıma gücü geogrid katkısı etkisi altında incelenmiş ve temel genişliğinin %40'ı değerinde bir derinliğe konulan geogridin en büyük artışı sağladığı belirlenmiştir (Das ve ark., 2000). Temel genişliğinin %172'si gibi bir derinlikten sonra geogridin olumlu etkisinin görülemediği de araştırma sonucu elde edilmiştir.

Demiröz ve ark. (2008) geogrid ile güçlendirilmiş kum ortamda temel taşıma gücünü irdelemişlerdir. Deneysel çalışmada temelin genişliği ve gömme derinliği, geogrid donatılarının boyu ve tabaka sayısı ile donatının konulduğu derinlik değişken olarak kullanılmıştır. Bu faktörlerden temel genişliği taşıma gücünü yöneten en baskın parametre olarak öne çıkmıştır. Bunun dışında etkinlik sırası gömme derinliği, donatı derinliği, donatıların kaç tabaka olarak yerleştirileceği ve donatı boyu şeklinde ortaya çıkmıştır.

Şenol ve ark. (2008) kaplama olmadan inşa edilen yollarda geogrid kullanımını incelemişlerdir. Yol boyunca alt temel malzemesi kaynağının olmaması ve ocak mesafesinin uzak olması halinde geogrid kullanımının ekonomik olduğunu belirtmişlerdir.

Singh ve Gill (2012) çalışmalarında, düşük plastisiteli bir kili geogrid ile donatılandırmışlar ve Kaliforniya Taşıma Deneyleri yaparak sonuçları irdelemişlerdir. Optimum noktada hazırlanan numunelere geogrid tek katman halinde (derinlikler 0.2-0.4-0.6-0.8H) yerleştirilmiştir. Çalışmada geogrid ilavesinin CBR değerinde %100'e varan artışlar sağladığı bulunmuş, en iyi sonucun geogridin yüzeyden 0.2H kadar aşağıya konulması durumunda elde edildiği bildirilmiştir.

Toz ve Sert (2019) çalışmalarında bazalt geogridin silt zeminin CBR dayanımını nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda bazalt geogridin silt zemin kalınlığının belli bölgelerine konması durumunda kuru durumda CBR dayanımını %160'ı aşan oranlarda artırdığını ortaya koymuşlar ve doğal bir gereç olması nedeniyle de çevreci özelliğini öne çıkarmışlardır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA ve DENEY SONUÇLARI

Deneylerde Sakarya'nın Hendek ilçesinden temin edilen kil zemin kullanılmış, öncelikle doğal zemin üzerinde sınıflandırma, kompaksiyon ve Kaliforniya Taşıma deneyleri (CBR) yapılmıştır. Sonrasında bazalt geogridin 1 ve 2 sıra olmak üzere farklı konumda yerleştirilmesiyle donatılanmış zemin üzerinde kuru ve yaş CBR deneyleri gerçekleştirilmiştir.

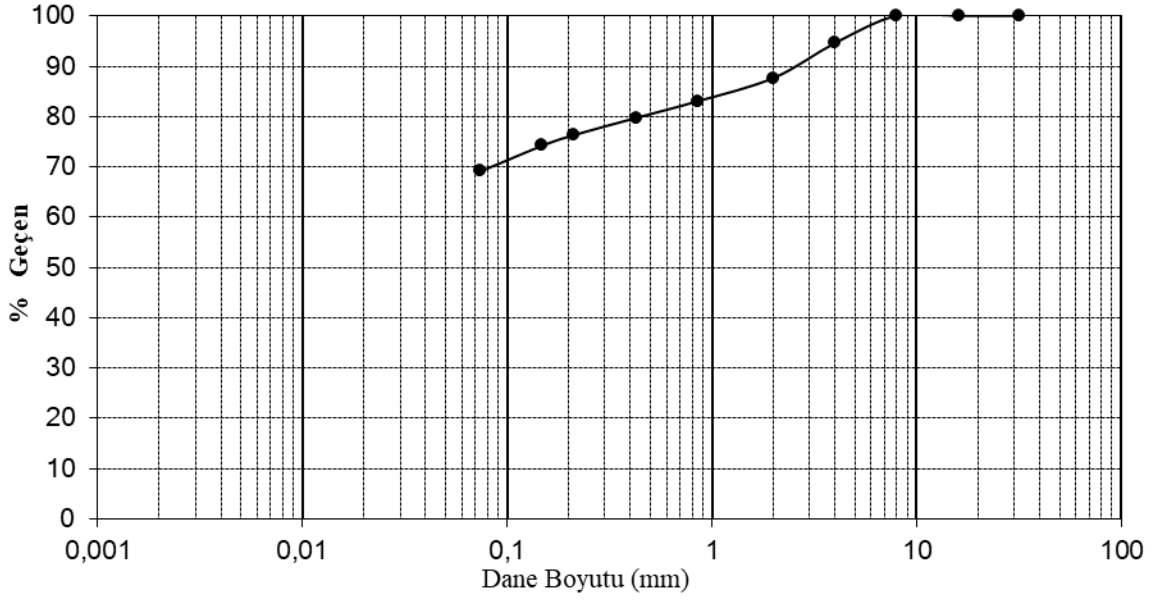
Yapılan deneylerde %69 ince içeren doğal zeminin sınıfı kumlu düşük plastisiteli kil (CL), optimum su muhtevası %17 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı $16,65 \text{ kN/m}^3$ olarak bulunmuştur. Deneylerde kullanılan kil zemin Görsel 1'de gösterilmiş, Çizelge 1'de ise fiziksel özellikleri özet olarak sunulmuştur. Görsel 2 ve Görsel 3'te kil zemine ait dane dağılım eğrisi ve standart Proctor sıkıştırma eğrisi sunulmaktadır.



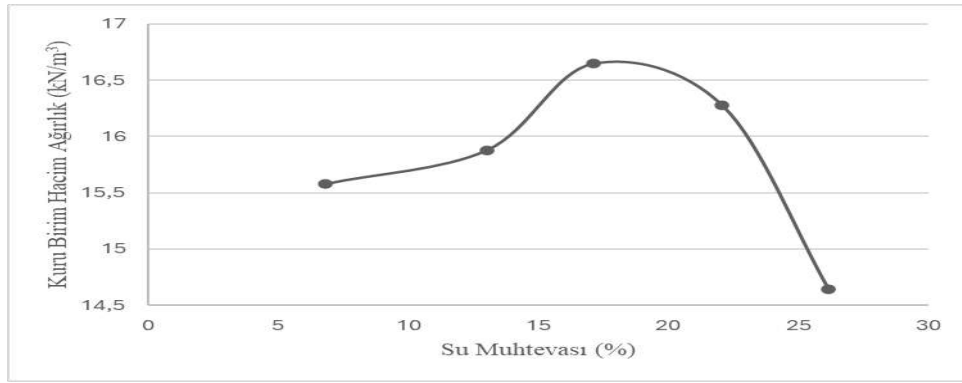
Görsel 1. Deneylerde Kullanılan Kil Zemin

Çizelge 1. Kil Zeminin Özellikleri

Özellik	Simge ve Birim	Değer
Likit limit	LL (%)	27
Plastik limit	PL (%)	16
Plastisite indisi	PI (%)	11
Maksimum kuru hacim ağırlık	γ_{kmaks} (kN/m ³)	16.65
Optimum su muhtevası	w_{opt} (%)	17
No 200'den geçen	%	69

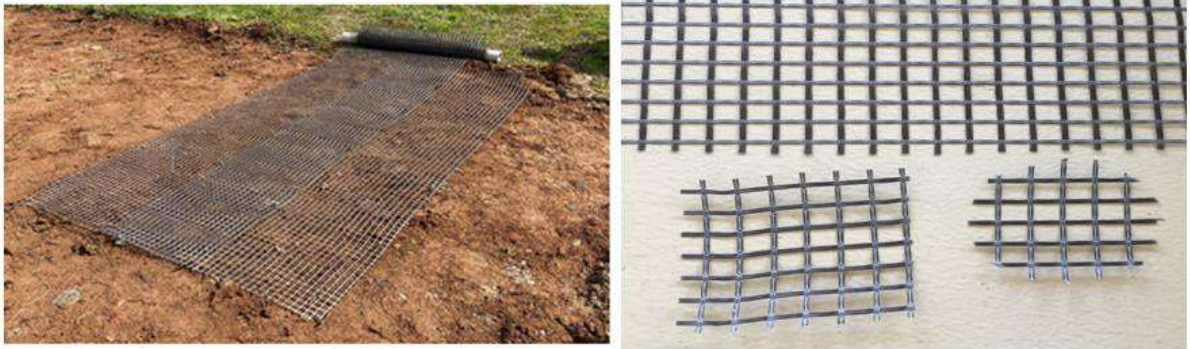


Görsel 2. Kil Zeminin Dane Dağılım Eğrisi



Görsel 3. Kil Zeminin Kompaksiyon Eğrisi

Deneylerde doğal bazalttan üretilmiş bazalt geogrid kullanılmıştır. Dairesel CBR kalıbına konacak olan geogrid dairesel şekilde kesilmiştir. Çift yönde taşıyıcı özelliği olan geogride ait fotoğraflar Görsel 4’te ve özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.



Görsel 4. Bazalt Geogridin Bütün ve Kesilmiş Hali

Çizelge 2. Kullanılan Bazalt Geogridin Özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Ham madde	-	Bazalt
Renk	-	Kahverengi
Gözenek açıklığı	mm/mm	25/25
Kalınlık	mm	1
Ağırlık	g/m ²	320
Elastisite modülü	GPa	26.20
Kopma anında uzama	%	2.20

Öncelikle doğal kil, sonrasında biri tek sıra, diğeri çift sıra bazalt geogrid içeren toplamda 6 adet numune pres ile CBR kalıbına yerleştirilip kuru ve yaş şartlarda Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneylerine tabi tutulmuştur. Görsel 5’te numunelerin hazırlanmasına yönelik fotoğraflar sunulmaktadır. Sıkıştırma işlemi, TS1900-2, Taşıma Oranı Tayini Deneyi, Statik Sıkıştırma, Metot 1’e göre yapılmış ve ıslak CBR deneyleri için numuneler 96 saat süreyle suda bekletilmiştir. Geogridler tek ve çift tabaka halinde yerleştirilmiştir. CBR kalıbının boyu H olmak üzere; Tek tabaka geogrid, kalıbın 0.2H noktasına, Çift tabaka geogrid, 0.1H ve 0.3H noktalarına yerleştirilmiştir.



Görsel 5. Numunelerin Hazırlanması

Görsel 6’da numunenin suda 96 saat bekleme süreci, sonrasında numunenin kalıpta şişmiş hali, kesme aşaması ve kesme sonucunda oluşan batmanın görüntüsü topluca verilmiştir.



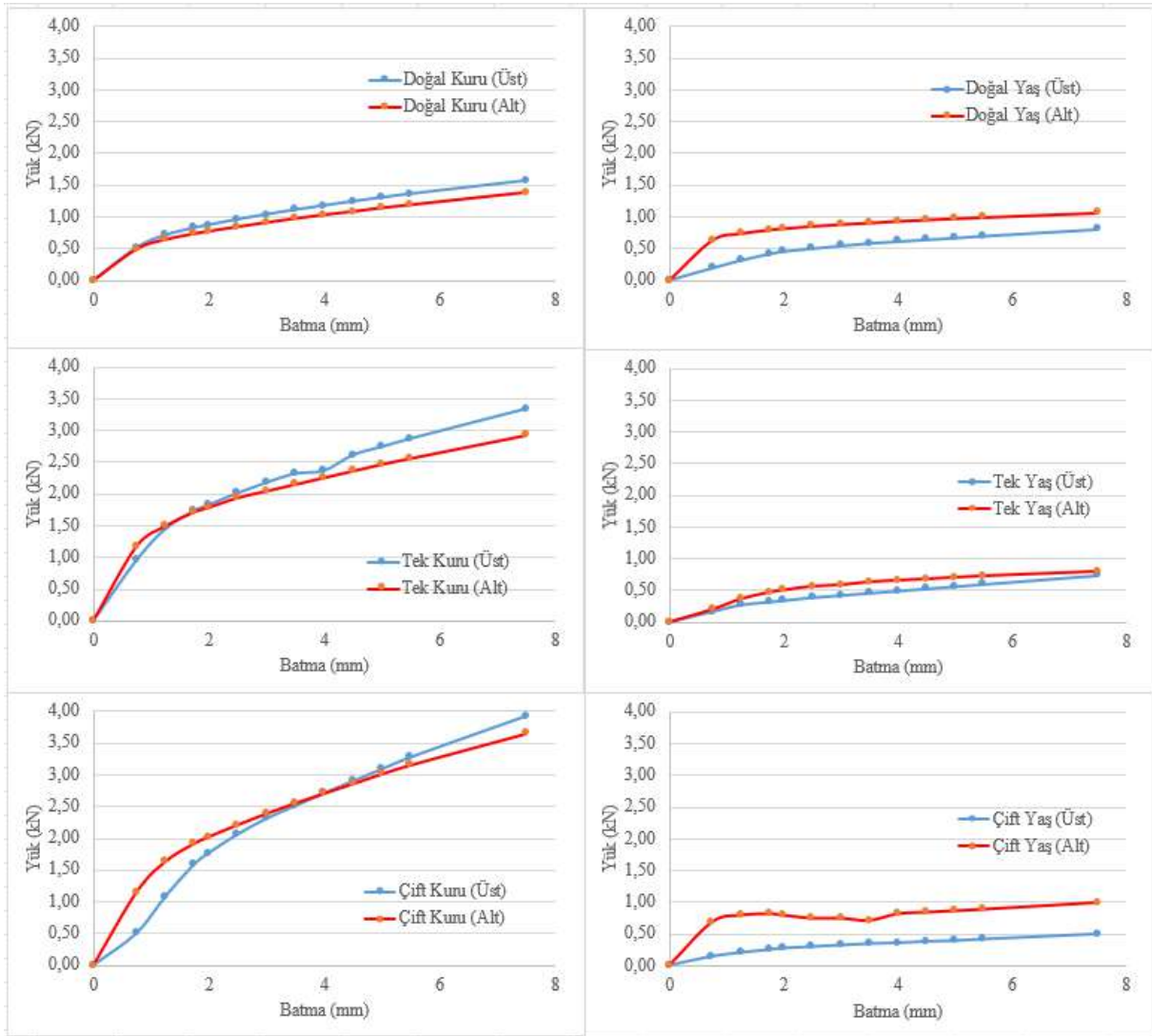
Görsel 6. CBR Deney Aşamaları

Görsel 7’de doğal numunenin yaş CBR deneyine ait okumalar örnek olarak sunulmaktadır. Burada standart okuma değerleri 2.5 mm için 13.24 kN ve 5 mm için 19.96 kN olarak verilmektedir.

Penetrasyon (mm)	Üst Okuma	Yük (kN)	Alt Okuma	Yük (kN)	Standart Yük (kN)	CBR %
0	0	0	0	0	0	
0.75	91	0.19	297	0.63		
1.25	148	0.31	347	0.74		
1.75	197	0.42	375	0.80		
2	215	0.46	385	0.82	11.50	
2.5	237	0.50	402	0.85	13.24	3.85
3	257	0.55	416	0.88		
3.5	276	0.59	427	0.91		
4	290	0.62	440	0.93	17.60	
4.5	303	0.64	450	0.95		
5	316	0.67	459	0.97	19.96	3.36
5.5	330	0.70	468	0.99		
7.5	380	0.81	501	1.06		

Görsel 7. Doğal Numunede Yaş CBR Deney Okumaları

Görsel 8’ de üçü kuru üçü yaş durumda olmak üzere 6 adet CBR deneyinde elde edilmiş üst ve alt okumalar grafikler halinde verilmektedir. Burada ilk bakışta dikkat çeken özellik kuru durumda geogrid kullanımının batma için gerekli yük değerini açık bir şekilde arttırdığıdır. Bunun yanında yaş okumalarda geogridli numunelerde yük değerindeki düşüşün daha fazla olduğu da dikkat çekmektedir.



Görsel 8. Tüm Numunelerde CBR Deney Okumaları

CBR sonuçlarına bakıldığında doğal durumda %7,24 ve %6,44 olarak elde edilen kuru ve yaş CBR değerleri, tek sıra bazalt geogrid kullanıldığında %15,19 ve %4,27, çift sıra bazalt geogrid kullanıldığında %16,71 ve %5,60 olarak elde edilmiştir. Yaş CBR deneylerinde her bir durum için şişme miktarları birbirine çok yakın olmak üzere 1.80 mm civarında bulunmuştur. Bu konfigürasyonlarda şişme değerlerinde bir azalma görülemediği. Kuru durumda CBR değerlerine bakıldığında bazalt geogrid katkısının CBR direncini tekli kullanım için %110, çiftli kullanım için %130 civarında arttırdığı tespit edilmiştir. Ancak yaş CBR değerlerine bakıldığında geogrid olmayan durumda düşüşün %11 civarında olduğu, tekli geogrid olması durumunda düşüşün %72'ye, çiftli kullanımda ise %67'ye vardığı görülmüştür. Yaş durumda geogrid olmayan duruma göre tekli kullanımda %34, çiftli kullanımda ise %13 civarında bir düşüş olduğu ilginç bir bulgu olarak belirlenmiştir. Bu durumda bazalt geogridin güçlendirme etkisinin suyun varlığında görülemediğini söylemek yanlış olmayacaktır. Deneyler sonrasında bazalt geogridin farklı geogrid türlerine bir alternatif olarak kullanılabilceği, ancak su

seviyesinin yükselmesi ihtimali olan durumlarda dikkatli olunması gerektiği sonucuna varılmıştır. Çizelge 3’ de kuru ve yaş CBR deney sonuç özeti sunulmaktadır. Buradaki artış ve azalış oranları ilgili batma miktarı kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 3. Kuru ve Yaş CBR Deney Sonuç Özeti

	ÜST OKUMA				ALT OKUMA			
	2.5 mm		5 mm		2.5 mm		5 mm	
	ORAN (%)	ARTIŞ (%)	ORAN (%)	ARTIŞ (%)	CBR (%)	ARTIŞ (%)	ORAN (%)	ARTIŞ (%)
GEOGRİD YOK KURU	7,24	--	6,51	--	6,34	--	5,70	--
TEK TABAKA GEOGRİD KURU	15,19	109,81	13,73	110,91	14,66	131,23	12,38	117,19
ÇİFT TABAKA GEOGRİD KURU	15,55	114,78	15,44	137,17	16,71	163,56	15,09	164,74
GEOGRİD YOK YAŞ	3,80	--	3,36	--	6,44	--	4,88	--
TEK TABAKA GEOGRİD YAŞ	2,93	-22,89	2,83	-15,77	4,27	-33,70	3,54	-27,46
ÇİFT TABAKA GEOGRİD YAŞ	2,22	-41,58	1,95	-41,96	5,60	-13,04	4,30	-11,89

4. SONUÇLAR

Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- Bazalt geogrid katkısı kuru numunelerde tüm okumalarda CBR değerini artırmıştır (kil zemin iyileştirmiştir).
- Yaş numunelerde tüm okumalarda düşüş görülmüştür. Bazalt geogridin kullanıldığı durumlarda bu düşüş çok daha fazla olmuştur. Bu da yaş durumda geogridin CBR değerine olumsuz etki yaptığını işaret etmektedir.
- Elde edilen bu sonuçlara göre, bazalt geogridin su seviyesinin yükselmeyeceği ortamlarda kullanılması durumunda kil zeminin iyileşmesini sağlayacağı anlaşılmıştır.
- Doğada bulunan bir kayaktan üretilmesi sebebiyle polipropilen vb. geogridlere göre çevreci özelliğe sahip olan bazalt geogridin zemin iyileştirmesinde alternatif olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Das, B.M., Omar, M.T., Atalar. C., Geogrid - Takviyeli Kil Şevlerin Üzerinde Yer Alan Sürekli Temellerin Toplam Taşıma Kapasitesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Konferansı, 223-232, İstanbul, 2000.
2. Demiröz, A., Tan, Ö., Erkan, İ.H., Geogrid Donatılı Kumların Taşıma Gücünü Etkileyen Tasarım Faktörlerinin Optimizasyonu, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Konferansı, 789-798, Konya, 2008.
3. Hausmann, M.R., Engineering Principles of Ground Modification, McGraw-Hill College, New York, 1990.

4. Singh, P., Gill, K.S., CBR Improvement of Clayey Soil with Geogrid Reinforcement , International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol.2, No.6, pp. 456-462, 2012.
5. Şenol, A., Gümüşer, C., Bostancıoğlu, M., Kaplamasız Yollarda Geogrid Kullanımının Farklı Hesap Yöntemleriyle Ekonomik Analizi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi, 649-658, Konya, 2008.
6. Toz, M., Sert, S., Bazalt Geogridin Zemin İyileştirmesinde Kullanımı, Sekizinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, 277-286, İstanbul, 2019.
7. TSE, TS1900-2 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri- Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini, Ankara, 2006.

VALUATION OF RESIDENTIAL REAL ESTATE USING MACHINE LEARNING TECHNIQUES

Reyyan AYDOĞDU^{1*}, Olcay GENÇ², and Serkan AYDINLI³

¹ İskenderun Technical University, Faculty of Engineering and Natural Science, ORCID ID

² Uludağ University, Faculty of Engineering, ORCID ID

³ Çukurova University, Faculty of Engineering, ORCID ID

ABSTRACT

The valuation of real estate plays a crucial role in informing investment decisions, determining tax obligations, and conducting financial risk assessments. However, traditional valuation approaches are often characterized by high costs and lengthy processes. This inherently intricate procedure is shaped by factors such as market price fluctuations, regional economic conditions, and the state of infrastructural development. Conventional methods typically rely on human expertise and subjective judgment, making them prone to inaccuracies and biases. Machine learning methodologies stand out for their ability to derive meaningful insights from vast datasets and generate more accurate predictions. Techniques such as machine learning and deep learning enhance predictive capabilities by analyzing complex data structures and detecting patterns that may elude human analysts. By leveraging data mining, statistical analysis, and automated learning algorithms, these models surpass the constraints of traditional approaches. This study explores the feasibility of employing machine learning methodologies to estimate real estate unit values. The effectiveness of algorithms, linear regression, k-nearest neighbor, decision tree, and random forest was evaluated through empirical analysis. The results demonstrate that machine learning-based models achieve higher accuracy rates compared to traditional regression methods, significantly minimizing errors and biases. Incorporating machine learning-driven valuation systems has the potential to revolutionize the real estate sector by enabling more transparent, consistent, and reliable property valuations.

Keywords: Estate Valuation, Unit Value Estimation, Artificial Intelligence, Machine Learning, Data Mining, Prediction Models.

1. INTRODUCTION

The building construction industry is the locomotive for many sectors. A critical challenge in building construction investment is determining the realistic sales price of real estate. The attributes of the property and its surrounding region can influence the property's value. The architectural design and production quality of the property, as well as features such as the number of rooms and bathrooms, are significant factors in the sale process. Besides, the region's socioeconomic demographics and facilities

can influence sales pricing. Residential properties close to social facilities, such as parks and shopping centers, could have a higher value than those without such facilities.

Assessing the value, depending on several variables, is a complex process for experts. Therefore, many approaches have been proposed in the literature, and efforts have been undertaken to improve the valuation process. Integrating Geographic Information Systems (GIS) has augmented the assessment process with spatial analysis that boosts the precision of property valuations [1]. Machine learning approaches have also gained attention in real estate appraisal. Random Forest Regression (RF) has been successfully used in mass evaluation, showcasing its capacity to manage extensive datasets and enhance valuation precision [2]. Also, the decision tree (DT) algorithm is extensively employed in real estate valuation processes. He et al. conducted real estate valuation using tree-based models in their study and mentioned that the decision tree algorithm can be used in valuation processes. The utilization of the k-nearest neighbors (k-NN) regressor in real estate appraisal is a promising method that can manage complex datasets. Cheung [3] examines the adoption of the nearest-neighbor methodology to adjust for attribute discrepancies among residential units, thus enhancing value precision. Linear regression (LR), a prevalent machine learning technique, serves as a statistical method for real estate valuation and estimates the correlation between property prices and various influencing variables. Alexandridis et al. [4] emphasize the efficiency of hedonic pricing models, employing linear regression to evaluate property values, particularly during the financial crisis in Greece.

The literature predominantly emphasizes the efficacy of the models, employing numerous parameters as variables. Nevertheless, there exists a lack of studies regarding the efficacy of real estate valuation that focuses only on residential attributes. This study aims to assess the efficacy of prediction models to be developed by using only the characteristics of real estate. To this end, real estate valuation reports from different locations of a province were examined, valuations were conducted using machine learning models, and the efficacy of the models was evaluated.

2. EXPERIMENTAL RESEARCH

The study compares the valuation performance of commonly used machine learning regression techniques. The collected data and details of the experimental study are given below.

2.1. Data Collection

A city in Türkiye, with a population of over 250,000, was determined as the sample region. Data on the value and features of real estate were gathered from 150 real estate value assessment reports, which are given in Table 1.

Table 1. Dependent and independent variables

Variable	Coding	Independent/Dependent
Housing in Complex	Binary	Independent
Floor	Integer	Independent
Attached/Detached Building	Binary	Independent
Security Guard	Binary	Independent
Parking Lot	Binary	Independent
Parking Garage	Binary	Independent
Elevator	Binary	Independent
Number of Bathrooms	Integer	Independent
Total Number of Floor	Integer	Independent
Number of Room	Integer	Independent
Unit Value	Continuous	Dependent

2.2. Linear Regression (LR) Model

LR is widely employed to determine the relationships between independent and dependent variables and estimate the dependent variable. LR constructs a linear model between the independent variables and the dependent variable and determines the relationship between them. LR uses the following formula to calculate the dependent variable (Eq 1).

$$a_1x_1 + a_2x_2 \dots + a_nx_n + c = Y \quad (1)$$

where; x_n is the independent variable, a_n is the coefficient of each independent variable, Y is the dependent variable and c is the constant. LR is an attractive candidate for problems where independent variables are employed to predict a continuous dependent variable, such as real estate valuation. The LR model, representing a traditional statistical technique, is employed, and its performance is assessed.

2.3. K-Nearest Neighbor Regressor (k-NN) Model

The k-NN regression model constructs a feature space with the training data and assesses the distance of the new sample from the training data in this space. Then, it produces a prediction for the new sample by utilizing the nearest samples as reference points [5]. Euclidean distance is usually used to measure distances between samples. The crucial step of the approach is the optimization of the parameter “k,” which defines the number of nearest samples to be included in the calculations (Fig 1).

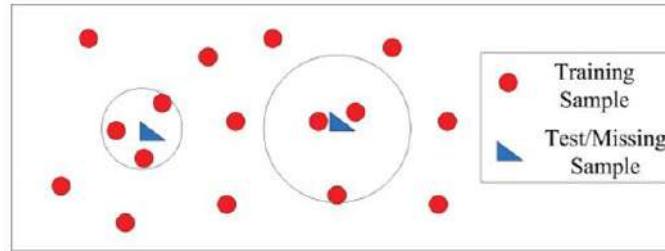


Fig 1. Feature space of k-NN regression algorithm k=3 [6]

Given that the independent variables in the valuation reports contain categorical data, the approach is deemed very appropriate for the problem.

2.4. Decision Tree Regression (DT) Model

DT is recognized as the fundamental algorithm in classification and regression trees (CART) models. DT constructs an algorithm that predicts the dependent variable by creating a tree-like structure based on the independent variables. Predictions are generated using nodes and leaves formed inside the structure [7].

A key advantage of DT is that it is very easy to adapt and implement. Furthermore, decision trees can deal with both numerical and categorical data [8]. Therefore, it was considered applicable to the problem and included in the study.

2.5. Random Forest Regression (RF) Model

RF which was first introduced by Breiman [9] is another tree-based algorithm that constructs many decision trees to enhance prediction precision [10]. The literature indicates that RF can outperform many other algorithms in multidimensional problems. Thus, RF was adopted into the study, and its performance was evaluated.

2.6. Development and Evaluation of Models

The development and evaluation of models are highly important when employing machine learning algorithms. Hyperparameters significantly influence the efficacy of machine learning models. The hyperparameters of the algorithms should be tuned according to the data; otherwise, the success rate of the model decreases [11]. The parameters are tuned during the training process through several methods and are then applied to produce a prediction for a new sample.

In this study, a grid-search strategy was employed to determine the appropriate hyperparameter tuning. Grid-search partitions hyperparameters into intervals, forming a grid, and evaluates the nodes inside this grid using the training data to identify the most suitable configurations.

Another key issue is to determine the success of the models. The most commonly used error metrics are Mean Squared Error (MSE), Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE), and Mean Absolute Percentage Error (MAPE). The efficacy of predictions in real estate valuation is assessed by the percentage variation of the forecast from the actual value. For this reason, MAPE was chosen as the evaluation metric (Eq 2).

$$MAPE = 100 \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (2)$$

where A_t is the actual value and F_t is the forecast value.

The backward elimination technique was applied to identify significant variables in the models. The models were initially assessed with all variables included, followed by a systematic exclusion of each variable to determine any enhancement in performance.

3. RESULTS AND DISCUSSION

First, the LR model is discussed in the study. Linear regression model results are given in Table 2.

Table 2. Results of the LR Model

Excluded Variables	MAPE
-	%53,09
Parking Garage	%52,20
Parking Lot	%52,03
Attached/Detached Building	%51,91
Elevator	%51,62
Number of Bathrooms	%50,56
Number of Room	%47,92
Floor	%46,78
<u>Included variables:</u> Housing in Complex, Security Guard, Total Number of Floor	

The linear regression model reaches success with a minimal number of variables. The model achieves a success rate of 46.78% with only three variables. In the model, Housing in the Complex, the Security Guard, and the Total Number of Floors were identified as significant variables.

Second, the k-NN regression algorithm was tested on the data. The k-NN regression algorithm is the model that includes the largest number of variables in the model and produces the most successful results (Table 3).

Table 3. Results of the k-NN Model

Excluded Variables	MAPE
-	%45,90
Housing in Complex	%43,98
<u>Included variables:</u> Floor, Attached/Detached Building, Security Guard, Parking Lot, Parking Garage, Elevator, Number of Bathrooms, Total Number of Floor, Number of Room	

Finally, tree-based algorithms are evaluated. The findings indicate that the DT and RF algorithms yield comparable outcomes. The results of DT and RF models are presented in Tables 4 and 5.

Table 4. Results of the DT Model

Excluded Variables	MAPE
-	%61,60
Housing in Complex	%61,60
Number of Bathrooms	%60,84
Floor	%58,51
Parking Lot	%58,42
Attached/Detached Building	%58,42
Security Guard	%58,42
<u>Included variables:</u> Parking Garage, Elevator, Total Number of Floor, Number of Room	

Table 5. Results of the RF Model

Excluded Variables	MAPE
-	%54,08
Parking Garage	%53,86
Parking Lot	%53,37
Housing in Complex	%53,03
Number of Bathrooms	%52,95
Number of Room	%52,69
Floor	%51,97
<u>Included variables:</u> Attached/Detached Building, Security Guard, Elevator, Total Number of Floor	

The study shows that machine learning techniques can achieve a certain prediction success by considering the physical characteristics of real estate properties. Nonetheless, physical attributes alone are inadequate. To comprehensively assess the value of the real estate, it is essential to acquire information regarding the neighborhood and its surroundings. For example, it is known that real estate close to public transportation, such as rail systems, is more valuable than others [12]. Green and brownfields in the surrounding area also affect property value. Brownfields can adversely affect property values [13]. The economic conditions prevailing at the time of valuation are additional elements that directly influence the value. Developing econometric models is crucial for accurately assessing real estate value [14].

4. CONCLUSION

This study aims to determine the effectiveness of machine learning techniques in real estate valuation processes, which are vital for real estate investments. Valuation reports on 150 residential buildings were evaluated, resulting in the compilation of a dataset containing the physical attributes of the properties. The study concluded that machine learning approaches can serve as an effective decision-support tool in the valuation process. Nevertheless, it is essential

to remember that these technologies require adequate variables for optimal functionality. The physical and environmental attributes of the real estate must be clearly defined, and the economic and market conditions pertinent to the valuation period should be thoroughly investigated. In the future, we believe that the development of machine learning models that include all of these variables will make significant contributions to the sector.

REFERENCES

- [1] Y. Tian and J. P. Yang, “Application of Geographic Information System on Urban Residential Real Estate Mass Appraisal,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 744–746, pp. 1665–1668, Mar. 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.744-746.1665.
- [2] J. Hong, H. Choi, and W. Kim, “A House Price Valuation Based on The Random Forest Approach: The Mass Appraisal of Residential Property in South Korea,” *Int. J. Strateg. Prop. Manag.*, vol. 24, no. 3, pp. 140–152, Feb. 2020, doi: 10.3846/ijspm.2020.11544.
- [3] S. K. C. Cheung, “A Localized Model for Residential Property Valuation: Nearest Neighbor with Attribute Differences,” *Int. Real Estate Rev.*, vol. 20, no. 2, pp. 221–250, Jun. 2017, doi: 10.53383/100242.
- [4] A. K. Alexandridis, D. Karlis, D. Papastamos, and D. Andritsos, “Real Estate valuation and forecasting in non-homogeneous markets: A case study in Greece during the financial crisis,” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 70, no. 10, pp. 1769–1783, Oct. 2019, doi: 10.1080/01605682.2018.1468864.
- [5] K. C. Assi, H. Labelle, and F. Cheriet, “Modified Large Margin Nearest Neighbor Metric Learning for Regression,” *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 21, no. 3, pp. 292–296, Mar. 2014, doi: 10.1109/LSP.2014.2301037.
- [6] S. Zhang, X. Li, M. Zong, X. Zhu, and D. Cheng, “Learning k for kNN Classification,” *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 1–19, May 2017, doi: 10.1145/2990508.
- [7] W. Loh, “Classification and regression trees,” *WIREs Data Min. Knowl. Discov.*, vol. 1, no. 1, pp. 14–23, Jan. 2011, doi: 10.1002/widm.8.
- [8] A. C. Sick-Samuels *et al.*, “A Decision Tree Using Patient Characteristics to Predict Resistance to Commonly Used Broad-Spectrum Antibiotics in Children With Gram-Negative Bloodstream Infections,” *J. Pediatric Infect. Dis. Soc.*, vol. 9, no. 2, pp. 142–149, Apr. 2020, doi: 10.1093/jpids/piy137.
- [9] L. Breiman, “Random Forests,” *Mach. Learn.*, vol. 45, pp. 5–32, 2001.
- [10] M. Segal and Y. Xiao, “Multivariate random forests,” *WIREs Data Min. Knowl. Discov.*, vol. 1, no. 1, pp. 80–87, Jan. 2011, doi: 10.1002/widm.12.
- [11] J. A. Ilemobayo *et al.*, “Hyperparameter Tuning in Machine Learning: A Comprehensive Review,” *J. Eng. Res. Reports*, vol. 26, no. 6, pp. 388–395, Jun. 2024, doi: 10.9734/jerr/2024/v26i61188.
- [12] M. F. Dziauddin, “The impact of urban light rail transit on double-story terraced property values in the Greater Kuala Lumpur, Malaysia,” *Indones. J. Geogr.*, vol. 53, no. 1, Apr. 2021, doi: 10.22146/ijg.46302.
- [13] K. Tureckova, S. Martinat, J. Skrabal, P. Chmielova, and J. Nevima, “How local

population perceive impact of brownfields on the residential property values: Some remarks from post-industrial areas in the Czech Republic,” *Geogr. Tech.*, vol. 12, no. 2, pp. 150–164, Oct. 2017, doi: 10.21163/GT_2017.122.13.

- [14] M. Doszyń, “Prior information in econometric real estate appraisal: a mixed estimation procedure,” *J. Eur. Real Estate Res.*, vol. 14, no. 3, pp. 349–361, Oct. 2021, doi: 10.1108/JERER-11-2020-0057.



EGE 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
DECEMBER 26 – 30, 2024 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-5962-10-2

KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİ SONRASINDA MALATYA BÖLGESİNDE MEYDANA GELEN HASARLARIN ANALİZİ

Doç. Dr. Yaşar AYAZ

İnönü Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

yasar.ayaz@inonu.edu.tr - 0000-0002-1089-0700

ÖZET

Kahramanmaraş depremleri sonrasında Malatya bölgesinde birçok binada orta ve ağır düzeyde hasar meydana gelmiştir. Bazı binalar deprem sırasında göçmüştür. Deprem sonrası yapılan incelemeler, çeşitli yapısal tasarım kusurlarının ve uygulama eksikliklerinin bu hasarlara sebep olduğunu ortaya koymaktadır. Öncelikle, deprem sırasında binaların deprem yüklerine karşı dayanıklılığını artıran perdelerin yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Etriye sıklaştırma işleminin ihmal edilmesi, betonarme elemanların dayanıklılığını azaltmıştır. Yumuşak kat, bina stabilitesini olumsuz etkilemiş ve dayanıklılığı azaltarak bu katlarda binanın hasara uğramasına sebep olmuştur. Konsol kullanımındaki hatalar, deprem sırasında yapısal elemanlar üzerinde ek yükler yol açmıştır. Kalitesiz beton kullanımı, yapısal dayanıklılığı olumsuz yönde etkilemiştir. Zemin etütlerin uygun yapılmadığı veya hiç yapılmadığı, zemine uygun olmayan temel yapısı üzerine binaların inşa edildiği görülmüştür. Bu analiz, Malatya bölgesindeki hasarın temel nedenlerini belirlemeyi ve gelecekteki geliştirme süreçlerinde daha güvenli ve depreme dayanıklı binalar inşa etmek için önlemlerin uygulanmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deprem hasarı, depreme dayanıklı yapı, sismik tasarım

1. GİRİŞ

06.02.2023 günü, Türkiye saati ile 04:17'de ve 13:24'de merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Elbistan (Kahramanmaraş) olan Mw 7.7 ve Mw 7.6 büyüklüğünde iki deprem meydana gelmiştir. 7.7 büyüklüğündeki deprem yerin 8.6 km derinliğinde meydana gelirken 7.6 büyüklüğündeki deprem yerin 7 km derinliğinde meydana gelmiştir[1]. Mercalli şiddet ölçeğine göre sarsıntıların şiddeti, ölçeğin en yüksek değeri olan XII (Afetsel) olarak saptanmıştır. Depremler sonucunda Türkiye'de resmî rakamlara göre en az 53 bin 537, Suriye'de ise en az 8 bin 476 kişi ölmüş ve toplam 122 binden fazla kişi ise yaralanmıştır. Depremlerin ardından büyüklüğü 6,7 Mw'e kadar varan 45 binden fazla artçı sarsıntı gerçekleşmiştir[2].

Betonarme binalarda hasar görme nedenleri arasında yapıların projelendirilme aşamasında kullanılan deprem yükleri, imalat aşamasında yapılan hatalar, yapı güvenliğinden tavizler, taşıyıcı sistemin seçimi, zeminde oluşan oturmalar, yangın, donma-çözünme, çarpma ve patlatma etkileri bulunmaktadır. Bu nedenler sonucunda binalar hasar görmektedir [3].

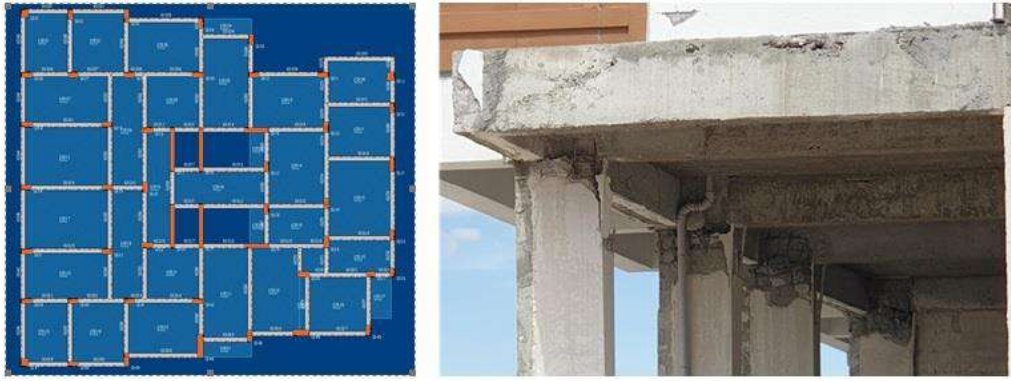
Önceki depremlerde ve bu depremler sırasında yapılan birçok çalışmada benzer kusurların yapılarda hasara yol açtığı gözlenmiştir. İnel vd. tarafından yapılan çalışmalarda ise 2011 yılındaki Simav ve Van Depremleri sonrasında benzer bulgular tespit edilmiştir. Yapılan detaylı incelemelerle hasarlı yapıların başlıca malzeme özellikleri, tasarım ve uygulama süreçlerindeki eksikliklerden etkilendiği belirlenmiştir. Özellikle derz bölgelerinde ve donatı ek yerlerinde oluşan yetersizlikler yapıların çökmesine katkıda bulunan önemli faktörler olarak göze çarpmaktadır. Yetersiz ve/veya hatalı yanal donatı uygulamaları, kısa kolonlar, kapalı çıkmalar, yumuşak kat etkileri, yalıtım hataları, kalkan duvar imalatları, yetersiz beton dayanımı, binalar arası çekiçleme ve çarpışma etkileri ile yapısal sistem tasarım hataları da önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bu eksikliklerin yapıların dayanıklılığını ve deprem performansını olumsuz yönde etkilediği vurgulanmıştır [4]. Türkiye'de meydana gelen depremlerde betonarme yapılar üzerindeki hasarları incelediğimizde, bu zararların büyük ölçüde yönetmelik ihlallerinden kaynaklandığı açıkça görülmektedir. Özellikle Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) çerçevesinde betonarme yapıların tasarım ve uygulamalarında görülen düzensizlikler, bu yapıların deprem etkisi altında hasar görmesine neden olmaktadır[5]. 2020 Elazığ depremi sonrasında yaptıkları incelemede, Sıkoğlu ve Güney, depremden en çok etkilenen mahallelerin öncelikle eski yapı stoklarının yoğun varlığı ve alüvyonlu arazideki jeolojik konumları nedeniyle zarar gördüğünü belirtmişlerdir [6].

Bu makalede, 6 Şubat depremleri sonrasında Malatya'da binalarda hasara yol açan eksiklikler, saha incelemelerine dayalı olarak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Malatya bölgesinde yapılan incelemelerde imar problemleri, yetersiz perde duvarı, hatalı veya zemine uygun olmayan temel seçimi, aşırı konsol kullanımı, yatay-düşey düzensizlikler, düşük kalite beton ve işçilik hatalarının (kalıp ve demir) başlıca hasar sebepleri arasında yer aldığı görülmüştür.

2. ARAZİ ÇALIŞMALARI VE BULGULAR

2.1. Perde duvar yetersizliği

Perde duvarları, bir yapının depremlere karşı direncini artırmada ve olası hasarı en aza indirmede kritik bir rol oynar. Bu duvarlar, yapıyı sismik kuvvetlere karşı güçlendirir ve deprem sırasında oluşabilecek olası deformasyonları kontrol ederler[7]. Yüksek katlı binalarda önemli bir anti-yanal kuvvet bileşeni olarak, betonarme perdeler tüm yapının sismik performansını önemli ölçüde etkiler [8]. Deprem sonrası yapılan incelemelerde, Malatya bölgesinde deprem kuvvetlerini karşılayacak yeterlilikte perde duvarların kullanılmadığı görülmüştür. Perdelerin daha çok, asansör ve merdiven etrafında kullanıldığı, bunun da sadece o bölgede rijitliği artırarak yapıda hasarlara sebep olduğu görülmüştür. Uygun olmayan perdelerin yapıda burulmalara sebep olduğu görülmüştür (Görsel 1).



Görsel 1. Yetersiz perde duvar

2.2. Etriye hataları

Etriye, betonarme yapılarda donatının stabilitesini sağlamak ve kesme kuvvetlerine karşı dayanımı artırmak amacıyla kullanılan temel elemanlardan biridir. Özellikle kolon ve kirişlerde donatıların burkulmasını önler ve yapı elemanlarının şekil değiştirme kapasitesini artırır [9]. Etriyelerin yetersiz aralıkları betonarme yapılar üzerinde çeşitli olumsuz etkilere sahip olabilir. Bu durum yapısal performansın zayıflamasına, çatlakların oluşmasına, dayanıklılık kaybına yol açabilir. Bu nedenle, etriye aralıklarının doğru belirlenmesi ve uygulanması betonarme yapı elemanlarının güvenilirliği ve dayanıklılığı için çok önemlidir. Deprem sonrası sahada yapılan incelemelerde, etriyelerin projeye uygun yapılmadığı, bağlantılarının düzgün olmadığı ve aralıklarının yetersiz olduğu tespit edilmiştir (Görsel 2).



Görsel 2. Yetersiz perde duvar

2.3. Yumuşak kat

Yumuşak kat, bir binanın belirli bir katında diğer katlara göre daha az rijitliğe veya dayanıklılığa sahip olması durumudur ve genellikle ticari alanlar gibi geniş açıklık gereksinimi nedeniyle ortaya çıkar. Bu durum, özellikle deprem anında, yumuşak katın aşırı deformasyona uğramasına ve üst katların çökmesine neden olarak ciddi yapısal hasarlara yol açabilir. Malatya bölgesinde şehir merkezinde yapılan konutların alt katları ticari işyerleri olarak yapılmıştır. Bu işyerlerinde dolgu duvarlar yapılmamış, kat yükseklikleri de normal katlardan fazla bırakılmıştır. Bu durum binaların daha fazla hasar almalarına sebep olmuştur (Görsel 3).



Görsel 3. Yumuşak kat

2.4. Gereksiz konsol kullanımı

Günümüzde özellikle imar kısıtlamaları nedeniyle özellikle şehir merkezlerinde inşa edilen yapılara bakıldığında birinci kattan itibaren, üst katlarda daha fazla alan kazanmak için, konsolların kullanıldığı görülmektedir. Ülkemizde konsollu yapıların oranı oldukça yüksektir. Ancak ülkemizin sahip olduğu geniş arazi yapısı göz önüne alındığında konsolların gerekliliği sorgulanabilir. Binalarda konsollar, estetik ve işlevsel faydalar sağlasa da bazı yapısal ve mali dezavantajlara sahiptir. İlk olarak, konsollar, özellikle uzun açıklıklarda, moment ve kesme kuvvetlerinin artmasına neden olur, bu da betonarme elemanların boyutlarını ve donatı miktarını artırır [10]. İkinci olarak, konsol uçlarında oluşan aşırı deformasyonlar ve sehim, hem yapısal hem de kullanıcı konforu açısından sorun yaratabilir [11]. Ayrıca, konsolların yükleri bina sistemine aktarma şekli, rijitlik dağılımını etkileyerek yumuşak kat oluşumu veya burulma gibi istenmeyen durumlara yol açabilir [12]. Malatya bölgesinde şehir merkezinde üst katlarda alan kazanmak için konsol kullanımına çok fazla rastlanmıştır. Ayrıca mimari tasarımlardan dolayı ve projersiz yapılan kaçak yapılarda kullanılan tip projelerden dolayı arsa problemi olmayan pek çok alanda gereksiz konsol kullanımına rastlanmıştır (Görsel 4).



Görsel 4. Gereksiz konsol kullanımı

2.5. Kalitesiz Malzeme

Düşük kaliteli beton kullanımı yapısal dayanıklılığı olumsuz etkiler. İnşaat malzemelerinin standartlara uygunluğu kontrol edilmeli ve yüksek kaliteli beton kullanılmalıdır. Beton dökümünde yapılan hatalar arasında uygun olmayan karışım oranları, yeterli süre karıştırılmama, betonu yüksekten dökme, şantiyede su ekleme ve vibratör kullanmama sayılabilir. Bu hataların birleşimi betonun dayanıklılığını ve yapısal bütünlüğünü olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle beton dökümü sırasında dikkatli ve doğru uygulamalar yapıların dayanıklılığı için çok önemlidir.

Yapılan incelemelerde beton kalitesinin düşük olduğu, vibratör kullanılmadığı, kalıp hataları ve işçilik hatalarının olduğu görülmüştür (Görsel 5).



Görsel 5. Kalitesiz malzeme

2.6. Kötü işçilik

Özellikle kalıp, beton ve donatı işçiliğinde özensiz davranıldığı tespit edilmiştir. Kalıpların doğru bağlanmadığı, segregasyonların sıklıkla görüldüğü, donatıların tam bağlanmadığı, etriye aralıklarının projeye uygun yapılmadığı görülmüştür. Kolonların akslarının kaydırıldığı birçok binada görülmüştür (Görsel 6).



Görsel 6. Aks ve kalıp hataları

2.5. Zemin ve temel problemleri

Deprem bölgesi olan Malatya'da zemin koşulları yüksek katlı yapıların inşası için uygun değildir. Bir yapının inşasından önce, uygun temel tipi ve boyutlarını belirlemek için zemin sınıflandırması ve zemin parametrelerini (taşıma kapasitesi vb.) içeren bir zemin araştırması yapılmalıdır. Ancak bulgular, zemin araştırmalarının yapılmadığını, yüksek katlı yapıların uygun olmayan zeminler üzerine inşa edildiğini ve temel tiplerinin ve boyutlarının uygun şekilde seçilmediğini göstermektedir. Görsel 7'da görülen zemin bir dere yatağıdır. Silt ve kum tabakaları açıkça görülmektedir. Ancak bu zemin raporlarda kaya olarak sınıflandırılmaktadır.



Görsel 7. Zemin problemleri

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Türkiye'de yaklaşık her 10 yılda bir büyük deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin neden olduğu yıkım, binalarımızın yapısal bütünlüğünün yetersiz olması nedeniyle daha da artar. Örneğin, büyüklüğü 7 olan depremler daha büyük yıkıma neden olmuştur. 2018 tarihli Türk Bina Deprem Yönetmeliği, yapılar için gelişmiş bir standart getirmiştir. Binalar bu yönetmeliğe uysaydı, çöken yapıların sayısı daha az olurdu. Ancak, yerinde yapılan incelemeler yönetmeliklere uyulmadığını ortaya koymakta ve yapıların gerekli standartlara ve kaliteye göre inşa edilmediğini göstermektedir. Sorunlar arasında, sahaya özgü zemin araştırmalarının olmaması veya yanlış olması, zemin için temel tiplerinin uygunsuz seçilmesi, zeminin yük taşıma kapasitesini aşan bina inşaatı, deprem yönetmeliklerine uygun perde duvarların yetersiz kullanımı, yetersiz etriye aralıkları, düşük beton kalitesi, kötü işçilik ve binalarda tasarım hataları yer almaktadır.

KAYNAKÇA

1. <https://deprem.afad.gov.tr/content/137>

(Erişim tarihi: 28.12.2024)

2. [2023 Kahramanmaraş depremleri - Vikipedi \(wikipedia.org\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/2023_Kahramanmara%C5%9F_depremleri)

(Erişim tarihi: 28.12.2024)

3. Yanık, Y., Kamber Yılmaz, G., & Türker, T. . Betonarme Binalarda Hasar Tespiti ve Hasar Belirleme Yöntemleri. Journal of Investigations on Engineering and Technology, 1(2), 30-36, 2018

4. İnel, M. , Özmen, H. B. & Çaycı, B. T., Simav ve Van Depremleri, Yapı Hasar Nedenlerinin Değerlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19 (6), 256-265, 2013, 2011

5. Akbaş, Ayça, And Özlem Çalışkan, Deprem Etkisinde Hasar Alan Betonarme Yapıların Düzensizlik Türleri Yönü İle İncelenmesi, International Conference On Scientific And Academic Research. Vol. 1. 2023.

6. Şıkoğlu, E. & Güney, Y., 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depremi'nin Kent Merkezindeki Yansıması Üzerine Coğrafi Bir Değerlendirme, Resilience, 4 (2), 275-292, 2020.

7. Tony Holden, Jose Restrepo, and John B. Mander, Seismic Performance of Precast Reinforced and Prestressed Concrete Walls, Journal of Structural Engineering, Volume 129, Issue 3, Pages 277-424, March 2003.

8. Shuijing Xiao, Longhe Xu, Peng Feng, Post-earthquake performance and damage evaluation of self-centering shear wall with replaceable devices, Engineering Structures, Volume 289, 116248,ISSN 0141-0296, 2023.

9. Bayrak, M., & Can, S., Etriye donatısının betonarme elemanlardaki kesme dayanımına etkisi. İnşaat Teknolojisi ve Araştırmaları Dergisi, 15(3), 101-112, 2017.

10. Çelik, M., & Yılmaz, H., Konsol elemanların betonarme yapılarıdaki yapısal etkileri ve çözüm önerileri. Yapı Teknolojileri ve Araştırma Dergisi, 5(2), 121-135, 2019.

11. Aydın, H., & Demir, M., Uzun konsollarda deformasyon ve yapısal performans ilişkisi. Betonarme Tasarım Araştırmaları Dergisi, 8(1), 77-89, 2020.

12. Kara, H., & Akın, T., Konsol yapı elemanlarının rijitlik üzerindeki etkileri ve yapısal güvenlik. Deprem ve Yapı Mühendisliği Dergisi, 9(1), 34-48, 2021.

13. TBDY 2018, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>

14. Türkmen, İ., Karakoç, M.B., Ayaz, Y., Sarıcı, T., *Malatya Earthquake Report and Action Plan Following the February 6, 2023 Earthquakes*. Malatya, 2023.

EFFECT OF GRAIN SIZE AND SALTWATER CURING ON INTERFACE SHEAR BEHAVIOR BETWEEN SOIL AND PVC GEOMEMBRANE

Assist. Prof. Dr. Inci DEVELIOGLU

Izmir Katip Celebi University,
inci.develioglu@ikcu.edu.tr - 0000-0002-8298-7106

Assoc. Prof. Dr. Hasan Firat PULAT

Izmir Katip Celebi University,
hfiat.pulat@ikcu.edu.tr - 0000-0002-8298-7106

ABSTRACT

In this study, the interface shear strength behavior between the different types of soils and PVC GM was investigated. Low plasticity clay (LC), crushed sand (CS), and crushed gravel (CG) were used to determine effect of the grain size on the interface shear behavior. The thicknesses of PVC GMs were 1.5 and 3.0 mm. Also, the GMs were kept 0.5 molar saltwater for 4 and 16 months to determine the saltwater effects in constructions built close to the coastline. The internal and interface shear strength parameters were obtained by using medium scale direct shear device (100 x 100 mm). The traditional shear strength parameters were obtained from soil – soil interface experiments and the interface parameters were obtained from soil – GM interface experiments. The direct shear tests were carried out under the normal stress values of 49, 98 and 196 kPa. The experimental test results showed that soils with larger particles have higher interface friction angles. The lowest difference between the friction angles of both interfaces is in low plasticity clay, while the highest difference is in crushed gravel. The critical conclusions to be drawn from this study are that there is a 26.6% reduction in the interface friction angle of the PVC GM used in the foundation, even after 16 months, in the structures built close to the coastline.

Keywords: Geomembrane, Interface Direct Shear Test, Saltwater Aging, Shear Strength

1. INTRODUCTION

Various auxiliary materials are utilized to enhance the engineering parameters of designs in civil engineering applications. Geomembranes (GMs), geotextiles (GTX), and geocomposites, types of geosynthetics made from different polymers, are commonly employed in geotechnical engineering (Ouria et al., 2021; Lopes and Lopes, 2021; Chen et al., 2021). GMs are a critical type of geosynthetic widely used for liquid insulation in fields such as geotechnical, hydraulic, environmental, and transportation engineering. They offer advantages like faster construction, easy availability, and cost-effectiveness (Ghavam-Nasiri et al., 2019; Cen et al., 2018). However, while GMs act as effective barriers against leakage and environmental factors, their interface with soil can become a potential shear failure surface. Additionally, high vertical stresses can cause ruptures or perforations in GM surfaces. To address these challenges and ensure safe designs, it is essential to understand the shear behavior at the GM-soil interface.

Numerous studies have examined the shear strength of GM-soil interfaces through extensive testing. Feng and Cheng (2014) conducted laboratory experiments to determine the shear strength parameters at GM-soil and GM-GTX interfaces. Tests were repeated under varying normal stresses using a 400 x 600 mm large-scale direct shear device with a shear rate of 1 mm/min. Nonwoven geotextiles (400 g/m²) and 1.5 mm thick textured high density polyethylene (HDPE) geomembranes were tested with silty sandy silty clay soil. For GM-GTX interfaces, three samples were tested in triplicate under normal stresses of 50, 100, and 200 kPa, while GM-soil interfaces were tested with five samples under normal stresses of 20, 50, 100, 200, and 300 kPa. Friction angles for GM-GTX interfaces were 19.8°, 18.07°, and 17.45° for the 1st, 2nd, and 3rd repetitions, respectively. For GM-soil interfaces, the friction angles were 10.67°, 9.07°, and 9.00°. The results indicated that maximum shear strength is achieved with higher strain during the first shear and significantly lower strain during subsequent tests.

Chai and Saito (2021) evaluated the shear strength of GM-clay interfaces using a large-scale direct shear device. Clay soil was mixed with 30% quartz and 70% bentonite. Tests involved PVC, polyethylene (PE), and HDPE GMs under normal stresses of 50, 80, and 100 kPa. Results showed that the clay-PVC interface exhibited maximum adhesion, while the friction angle between bentonite and GMs was low (3°–4°). The low friction angle was attributed to water accumulation at the interface during testing, reducing shear strength by approximately 55% compared to the soil.

Fleming et al. (2006) studied the interface shear behavior of unsaturated soil and smooth HDPE GMs using a modified direct shear tester with a pore pressure transducer. The GM was 1.5 mm thick, and soil types included silty sand, Ottawa sand, and an Ottawa sand–bentonite mixture. The study found that friction angles for silty sand and Ottawa sand were 31.8°–21.0° and 35.5°–14.1°, respectively. Higher interface friction angles occurred with greater dry density, while higher water content reduced friction angles due to scratch, slip, and plow effects at varying stress levels.

Effendi (2011) investigated the interface shear strength of various GMs (HDPE, very low linear density polyethylene [VLLDPE], and PVC) with Ottawa sand using a ring shear test under normal stresses ranging from 50 to 200 kPa. The efficiency ratio ($E = \tan\delta/\tan\phi$) was used for evaluation. HDPE, with its hard and smooth surface, had the lowest E values (34–45%), while softer VLLDPE surfaces achieved higher ratios (44–59%). PVC, with its relatively softer

surface, mobilized E values of 70–97% at stresses between 50 and 223 kPa. The study concluded that GM surface characteristics significantly influence interface shear strength under varying stress levels.

This study examined the interface friction angle between soil and GM using a medium-scale direct shear device. PVC GMs with thicknesses of 1.5 mm and 3.0 mm were tested. The soil types included low plasticity clay, crushed sand, and crushed gravel. Since the soil supply area is near the coastline, seawater infiltration into groundwater and increased salinity levels were considered. To simulate this, GMs were cured in 0.5M saltwater for 4 and 16 months. Geotechnical index parameters and internal friction angles (ϕ) of the soil were determined. Interface friction angles (δ) were measured for both uncured and saltwater-cured GMs with the soils.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

In this study, crushed sand low plasticity clay (LC: particle size range 10 mm – 0.001 mm) (CS: particle size range 2.0 mm – 0.075 mm), and crushed gravel (CG: particle size range 10.0 mm – 1.0 mm) were used for interface direct shear testing. These soils were selected due to their frequent use with GMs and to evaluate the effects of particle size on shear behavior. The grain size distributions of the three soils are presented in Figure 1, while their geotechnical index parameters are listed in Table 1. Additionally, Figure 2 provides an image illustrating the physical appearance of the soils.

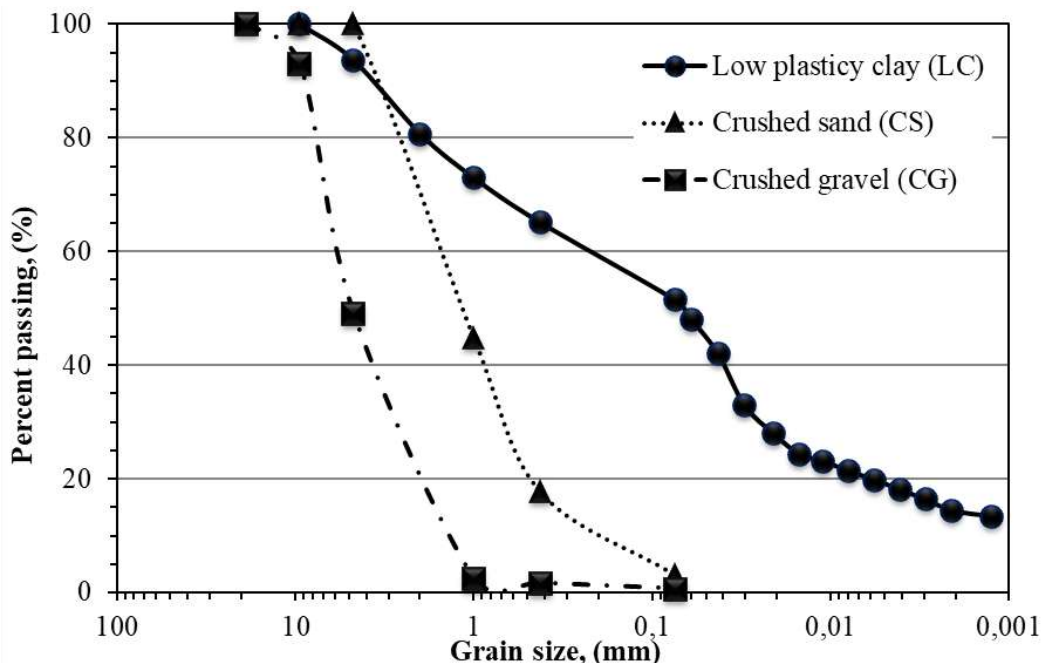


Figure 1. Grain Size Distributions of Soils

Table 1. Geotechnical Index Properties of Soils

Properties	Low plasticity clay (LC)	Crushed sand (CS)	Crushed gravel (CG)
USCS	CL	SW	GW
Specific gravity, G_s	2.60	2.68	2.56
Liquid limit, LL (%)	30.7	-	-
The plastic limit, PL (%)	21.1	NP	NP
Max. dry unit weight, $\gamma_{dry,max}$ (kN/m^3)	19.0	17.3	17.1
Opt. moisture content, w_{opt} (%)	1.3	11.2	6.5

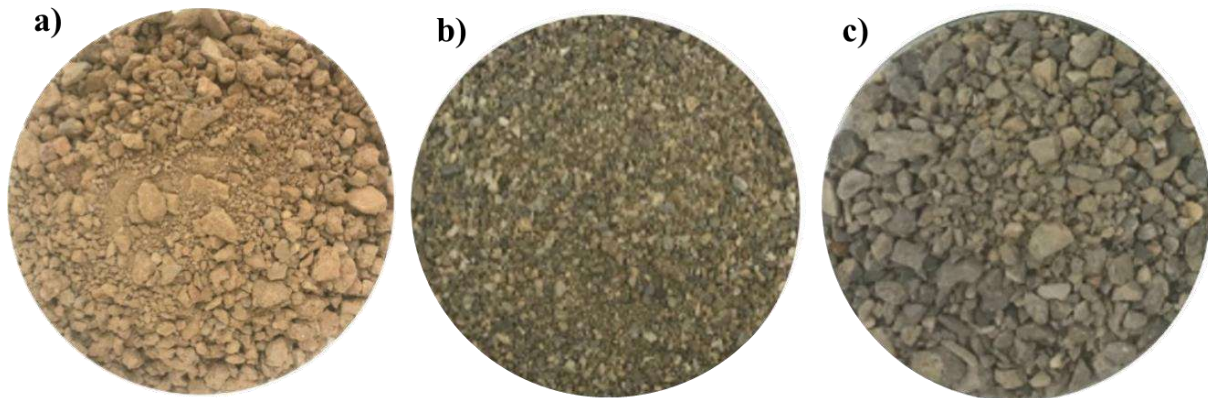


Figure 2. Physical Appearance of Soils

In this study, PVC geomembranes (GMs) with thicknesses of 1.5 mm and 3.0 mm were used. PVC GMs are commonly utilized for bunding at foundation bases and for insulation on roofs. These geomembranes serve as protective layers made from synthetic materials, designed for both liquid and thermal insulation. PVC is a type of polymer manufactured from oil and salt in petrochemical plants. Its production involves blending PVC raw material with plasticizers, stabilizers (reinforcers), and various additives in a mixer, followed by processing through an extrusion system at appropriate temperatures to achieve a uniform shape. The key properties of the 1.5 mm and 3.0 mm PVC GMs used in this study are summarized in Table 2.

Table 2. The essential characteristics of PVC geomembranes

Essential characteristics	Unit	Value
Thickness	mm	1.5/3.0
Resistance to tear	N	150/250
Shear resistance of joints	N/5 cm	800/1000
Tensile strength	N/mm ²	15/15

Elongation at break	%	250/250
Water tightness	-	Fully/Fully
Artificial aging-water tightness	-	Fully/Fully
Chemical resistance-water tightness	-	Fully/Fully
Resistance to fire	-	Class E/ClassE
Resistance to impact	mm	700/1500
Resistance to static loads	kg	20/20

2.2. Methods

In the Phase I of the laboratory experiments, the internal friction angle of the soil was determined using a 100 x 100 mm direct shear box in accordance with the ASTM D3080 standard for conventional direct shear testing. In the literature, shear devices of these dimensions are referred to as medium-scale direct shear devices (Dadkhah et al., 2010; Sobol et al., 2015; Mohapatra et al., 2016; Zahran et al., 2020). The interface friction angles (δ) for the soil-GM interfaces were measured following ASTM D5321 guidelines, utilizing a medium-scale direct shear device. A schematic diagram illustrating the interface direct shear tests is presented in Figure 3.

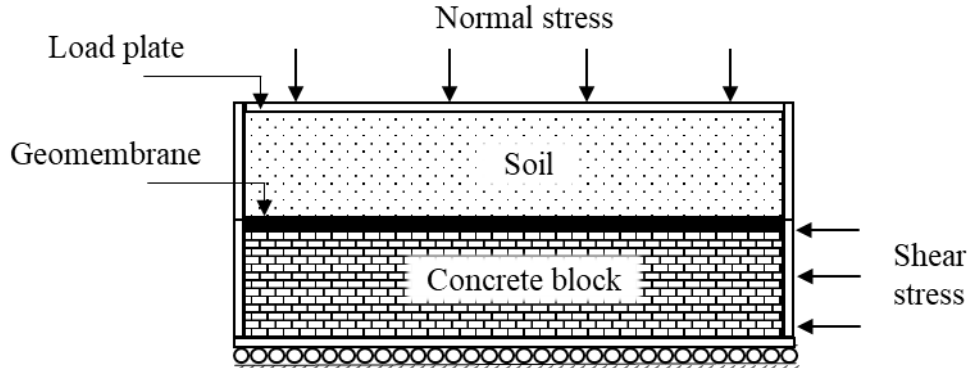


Figure 1. Test setup of soil – GM interface direct shear test

In the interface direct shear experiments, concrete blocks were produced with dimensions matching the lower part of the shear box, and a separate block was used for each sample. These rigid blocks were placed in the lower box to prevent settlement during the application of normal stress from above, ensuring the GM remained at the interface throughout the test. Additionally, for each experiment, the GM was positioned on the lower surface of the box during the shearing phase. This setup ensured that the GM, regardless of its thickness, was consistently located at the exact interface in all tests. Once the concrete block and GM were placed in the lower box, the soil was added to the upper box, as shown in Figure 4.

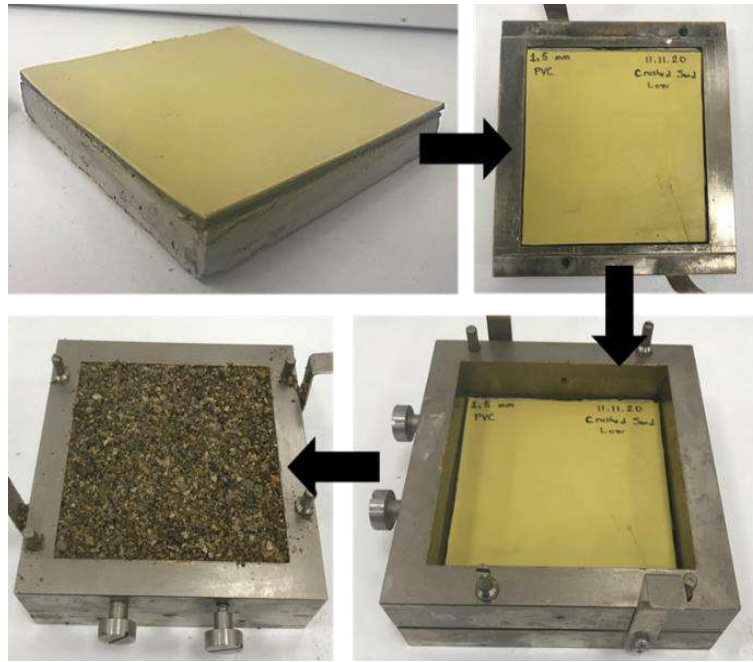


Figure 2. Interface direct shear tests sample preparation steps

Samples prepared at their optimum water content were compacted into the shear box at their maximum dry unit weight. To ensure 100% saturation during testing, the samples were submerged in water for approximately two hours before the experiments. After testing, the water content of the samples was measured, confirming that near-complete saturation had been achieved.

In Phase II of the direct shear experiments, GMs were not exposed to saltwater. In Phase III, GMs were immersed in 0.5M saltwater for durations of 4 and 16 months before being used in the direct shear tests. The medium-scale direct shear tests were conducted under normal stress levels of 49, 98, and 196 kPa. Due to the high permeability of the CS and CG, shear rate was selected as 0.5 mm/min. Due to the low permeability of the LC, shear rate was selected as 0.1 mm/min.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Direct shear tests

To evaluate shear strength behavior, conventional direct shear tests (soil-soil interface) were conducted using three soil types (LC, CS, and CG) under normal stresses of 49, 98, and 196 kPa. The samples were prepared at their maximum dry unit weight and optimum moisture content. Internal friction angles were obtained as 34.9°, 28.5°, and 43.9°, respectively. Soils with larger and more angular particles exhibited higher internal friction angles. As noted in the literature, internal friction angle tends to increase with particle size since larger particles require greater frictional force to achieve sliding and subsequently transition to rolling at the critical peak (Vangla and Gali, 2016; Ghazizadeh and Bareither, 2021; Marcotte and Fleming, 2021).

3.2. Interface direct shear tests (no curing)

To investigate the influence of GM thickness and soil grain size on soil-GM interface shear behavior, interface direct shear tests were conducted. To ensure the reliability of the results, at least two tests were performed for each sample, and the average values were used for analysis. The shear stress-strain curves for all interfaces are presented in Figure 5. Among the tested interfaces, CG-3.0PVC exhibited the highest shear strength, while LC-1.5PVC was the lowest. These results suggest that coarse, angular soils are better suited for thicker GMs.

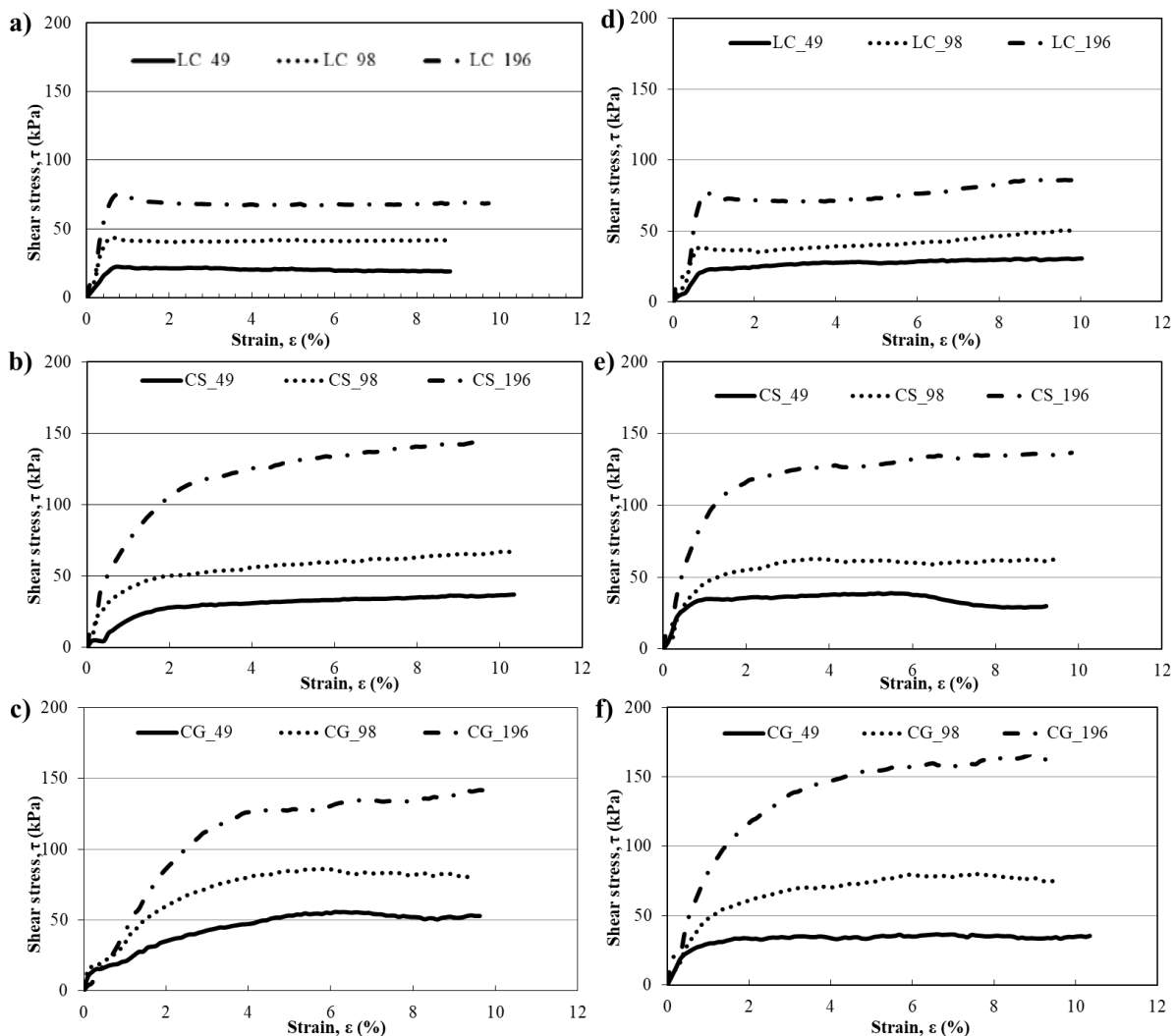


Figure 3. Shear stress – strain curves of a) LC-1.5PVC, b) CS-1.5PVC, c) CG-1.5PVC, d) LC-3.0PVC, e) CS-3.0PVC, f) CG-3.0PVC for no curing

The interface and internal friction angles of uncured samples are shown in Figure 6. For all soil types, the internal friction angle is the highest, while the interface friction angle for 1.5 mm PVC is the lowest. Larger particles require greater frictional force to achieve shear conditions and initiate rolling after unlocking (Vangla and Gali, 2016). Regarding angularity, soils with high angularity (CS and CG) exhibit higher interface friction angles compared to round-grained soils like LC. CS and CG have less spherical, less rounded, and more irregular particles than LC. These angular particles can easily plow through and create deeper grooves, resulting in

higher interface friction angles (Frost et al., 2012; Vangla and Gali, 2016; Adamska, 2018; Cen et al., 2018; Zettler et al., 2000).

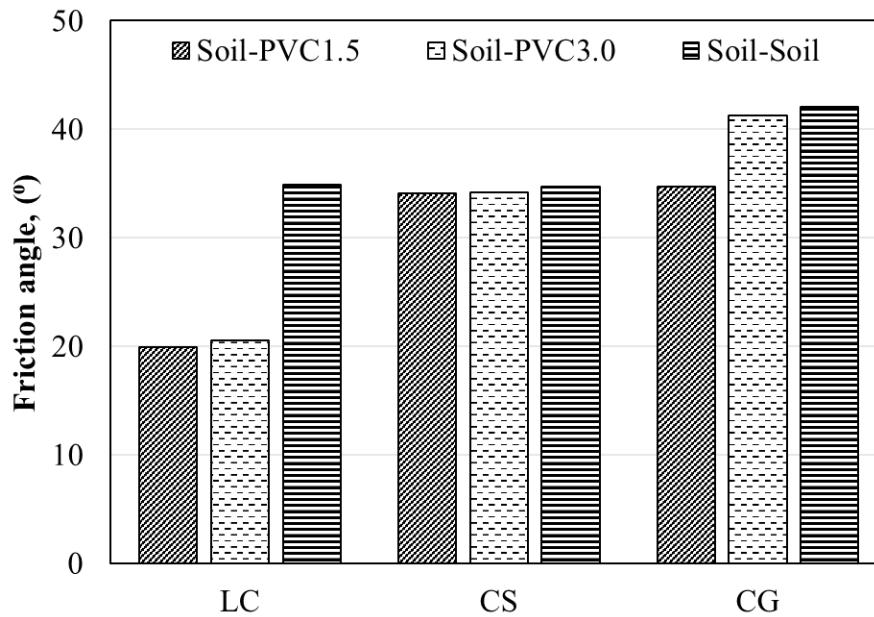


Figure 4. The internal and interface friction angles of no curing samples

3.3. Interface direct shear tests (4 and 16 months saltwater curing)

To investigate the effects of saltwater on the shear strength parameters of geomembranes in coastal areas, geomembranes were immersed in 0.5 molar saltwater for 4 and 16 months. The interface friction angles of samples cured in saltwater for 4 and 16 months are shown in Figure 7. An overall trend of decreasing interface friction angles with increasing curing time was observed. When comparing uncured samples with those cured for 16 months, the reductions in interface friction angles for 1.5 mm PVC were 26.6%, 6.2%, and 5.8%, respectively. For 3.0 mm PVC, the reductions were 11.7%, 6.1%, and 8.9%, respectively. Additionally, it was noted that the thicker geomembrane (GM) was less adversely affected by saltwater exposure. Exposure to chemicals, including saltwater, initiates oxidative degradation in GMs. Viebke et al. (1994) and Hsuan and Koerner (1998) described oxidative degradation as a three-stage process: (1) an initial stage with no significant changes in engineering properties, (2) a stage where oxidative degradation begins as antioxidants are depleted, and (3) a final stage where physical and mechanical properties deteriorate significantly.

Rowe and Rimal (2008) studied various types of GMs exposed to saltwater for 36 months and reported a decrease in oxidative induction time (OIT) of approximately 16% after 4 months and 24% after 16 months. Mills et al. (2019) conducted experiments with HDPE GMs immersed in saltwater at an elevated temperature of 90°C, finding OIT reductions of about 48% at 4 months and 76% at 16 months. The reduction in interface friction angles observed in this study for saltwater-cured samples can be attributed to oxidative degradation potentially occurring in the GMs during exposure.

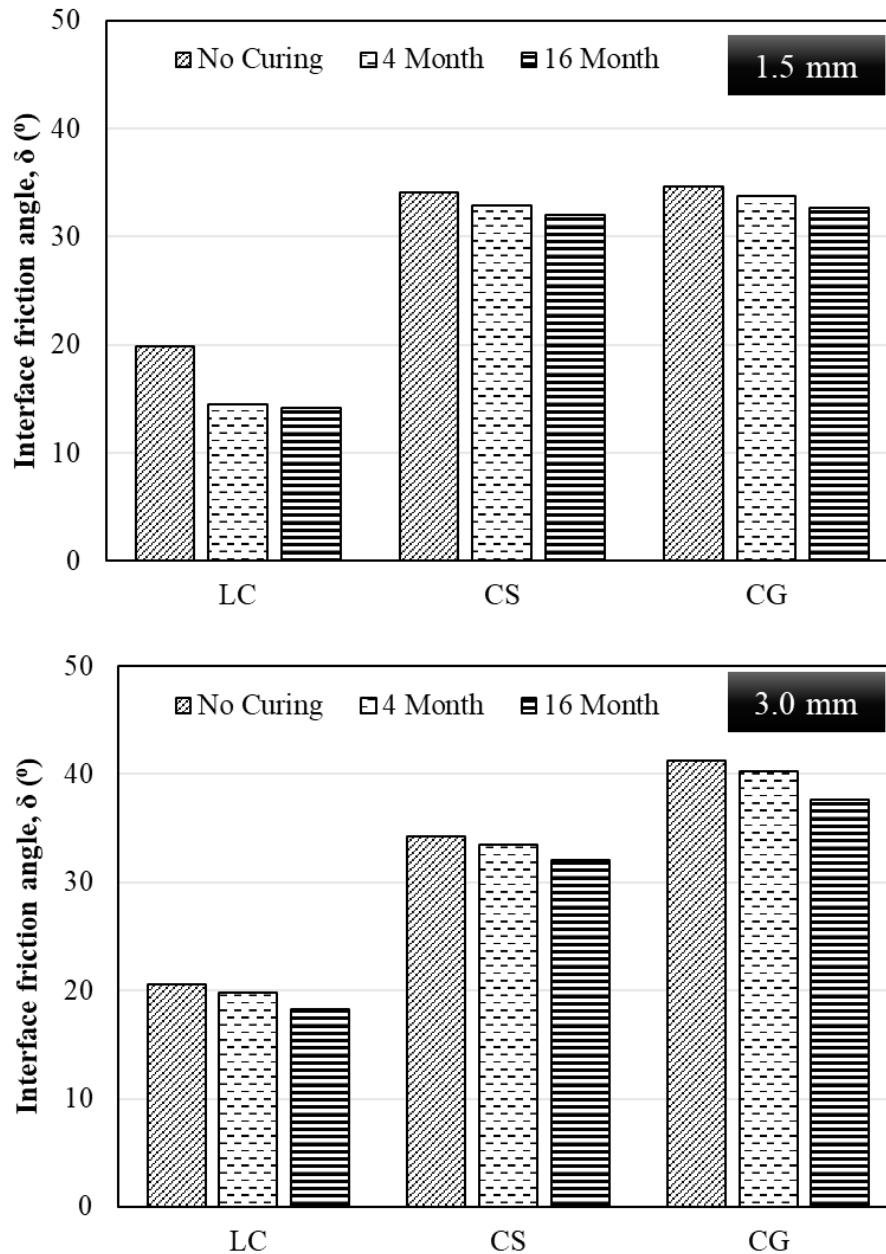


Figure 7. The interface friction angles of 4 and 16 months saltwater curing samples

4. CONCLUSION

For uncured samples:

- Crushed gravel exhibited the highest interface friction angle, while low plasticity clay showed the lowest.
- In other words, angular and coarser grains tend to have higher interface friction angles.
- For all soil types, the internal friction angle was greater than the interface friction angle.

For saltwater-cured samples:

- Saltwater curing caused a linear decrease in the interface friction angle over time.

Concluding remarks:

- This study suggests that crushed gravel, which demonstrated the best compatibility with PVC GM for insulation purposes, is recommended for use in building foundations and slopes.
- Additionally, using 3.0 mm PVC GM in combination with crushed gravel is advisable for soils containing salt in the groundwater.

REFERENCES

1. Adamska, K. Z. *Water content – density criteria for determining geomembrane – fly ash interface shear strength*. MATEC Web of Conferences, 262, 1 – 8, 2018.
2. ASTM (American Society for Testing and Materials). Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. ASTM D 3080/3080M – 11. West Conshohocken, PA: ASTM, 2011.
3. ASTM (American Society for Testing and Materials). Standard Test Method for Determining the Shear Strength of Soil – Geosynthetic and Geosynthetic – Geosynthetic Interfaces by Direct Shear. ASTM D 5321/5321M – 20. West Conshohocken, PA: ASTM, 2020.
4. Cen, W. J., Wang, H., and Fe, Y. J. Laboratory investigation of shear behavior of high – density polyethylene geomembrane interfaces. *Polymers*, 10, 1 – 14, 2018.
5. Chai, J. C., and Saito, A. Interface shear strengths between geosynthetics and clayey soils. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 2 (19), 3 – 9, 2016.
6. Chen, W., Xu, T., and Zhou, W. Microanalysis of smooth Geomembrane–Sand interface using FDM–DEM coupling simulation. *Geotextiles and Geomembranes*, 49, 276 – 288, 2021.
7. Dadkhah, R., Ghafoori, M., Ajalloeian, R., and Lashkaripour, G. R. The effect of scale direct shear test on the strength parameters of clayey sand in Isfahan City, Iran. *Journal of Applied Sciences*, 10 (18), 2027 – 2033, 2010.
8. Effendi, R. Interface friction of smooth geomembranes and Ottawa sand. *Info Teknik*, 12 (1), 61 – 72, 2011.
9. Feng, S.J. and Cheng, D. *Shear strength between soil/geomembrane and geotextile/geomembrane interfaces*. Tunneling and Underground Construction, Shanghai, China, 26 – 28 May, pp. 558 – 569, 2014.
10. Fleming, I. R., Sharma, J. S., and Jogi, M. B. 2006. Shear strength of geomembrane-soil interface under unsaturated conditions. *Geotextiles and Geomembranes*, 24, 274 – 284, 2006.
11. Frost, J. D., Kim, D., and Lee, S. W. Microscale geomembrane-granular material interactions. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16 (1), 79 – 92, 2012.
12. Ghavam-Nasiri, A., El-Zein, A., Airey, D., and Rowe, K. Water retention of geosynthetics clay liners: Dependence on void ratio and temperature. *Geotextiles and Geomembranes*, 47(2), 255 – 268, 2019.
13. Ghazizadeh, S., and Bareither, C. A. Failure mechanism of geosynthetics clay liner and textured geomembrane composite systems. *Geotextiles and Geomembranes*, 49, 789 – 803, 2021.
14. Hsuan, Y., and Koerner, R. Antioxidant depletion lifetime in high density polyethylene geomembranes. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 124(6), 532 – 541, 1998.

15. Marcotte, B. A., and Fleming, I. R. Direct measurement of geomembrane strain from aggregate indentations. *Geosynthetics International*, 0 (0), 1 – 54, 2021.
16. Mills, A., Fraser, B., and Beaumier, D. *Long-term Performance of HDPE Geomembranes Exposed to a High Temperature Brine Solution*. Geosynthetic 2019, Houston, Texas, 10 – 13 February 2019.
17. Mohapatra, S. R., Mishra, S. R., Nithin, S., and Rajagopal, K. *Effect of Box Size on Dilative Behaviour of Sand in Direct Shear Test*. Indian Geotechnical Conference, 16, 111 – 118, Chennai, India, 2016.
18. Ouria, A., Karamzadegan, S., and Emami, S. Interface properties of a cement coated geocomposite. *Construction and Building Materials*, 266(B), 2021.
19. Pinho-Lopes, M., and Lopes, M. L. Soil-geosynthetic interaction in inclined-plane shear and geosynthetic short-term tensile response – Influence of installation damage. *Construction and Building Materials*, 274, 2021.
20. Rowe, R. K. and Rimal, S. Aging of HDPE Geomembrane in Three Composite Landfill Liner Configurations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 134(7), 906 – 91, 2008.
21. Sobol, E., Sas, W., and Szymanski, A. Scale effect in direct shear tests on recycled concrete aggregate. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 37 (2), 45 – 49, 2015.
22. Vangla, P., and Gali, M. L. Shear behavior of sand – smooth geomembrane interfaces through micro – topographical analysis. *Geotextiles and Geomembranes*, 44, 592 – 603, 2016.
23. Viebke, J., Elble, E., Ifwarson, M., and Gedde, U. W. Degradation of unstabilized medium-density polyethylene pipes in hot-water applications. *Polymer Engineering & Science*, 34(17), 1354 – 1361, 1994.
24. Zahran, K., and El Naggari, H. Effect of Sample Size on TDA Shear Strength Parameters in Direct Shear Tests. *Transportation Research Record*, 2674 (9), 1110 – 1119, 2020.
25. Zettler, T. E., Frost, J. D., and DeJong, J. T. Shear-induced changes in smooth HDPE geomembrane surface topography. *Geosynthetics International*, 7(3), 243 – 267, 2000.

OPTIMIZATION OF PILED RAFT FOUNDATIONS WITH SUPERSTRUCTURE INTERACTION

Civil Eng., Damla KILIÇ

Sakarya University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department
damlaakilic@gmail.com- ORCID ID: 0000-0001-8901-8853

Prof. Dr., MSc., Civil Eng., Sedat SERT

Sakarya University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department
sert@sakarya.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-4114-6132

Research Assistant, MSc., Civil Eng., Eylem ARSLAN

Sakarya University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department
eylemarslan@sakarya.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-9053-1061

ABSTRACT

Piled raft foundation systems are designed primarily to mitigate settlements rather than to enhance bearing capacity. This approach is suitable for soils without bearing capacity or liquefaction issues, where the structural load is shared between the piles and the raft foundation. In geotechnical modeling, structural loads are often represented as uniformly distributed loads to save time and simplify solutions; however, this method inaccurately reflects the settlement behavior of the foundation. With advancements in computational technology, accurate and efficient modeling of superstructure-foundation-pile-soil interactions has become feasible, enabling more economical and realistic designs. In this study, a piled raft foundation system supporting a hypothetical 30-story building was modeled using PLAXIS 3D software. Initially, a uniform distributed load of 400 kPa was applied to the raft foundation, resulting in a total settlement of 143 mm. Subsequently, the superstructure was modeled in three dimensions, reducing the maximum settlement to 109 mm. Different pile spacing configurations were analyzed, yielding maximum settlements ranging from 39 mm to 64 mm. The results demonstrated that incorporating the superstructure into the model provides more accurate settlement predictions and that overly dense pile arrangements are unnecessary. Additionally, the use of piles beneath the raft foundation significantly reduced bending moments by more than 50%. This study concludes that piled raft foundation systems can provide more economical and optimal solutions compared to conventional piled foundations, highlighting the importance of superstructure interaction in achieving efficient and realistic designs.

Keywords: Clay, Settlement, Piled Raft Foundation, Optimized solution, Soil Pile Structure Interaction.

1. INTRODUCTION

Piled raft foundations are an innovative foundation system that combines piles and a raft to optimize load distribution and settlement control. They are primarily used to minimize settlement by relying on piles for most of the stiffness under serviceability loads, while the raft contributes additional load-bearing capacity at ultimate loads. In these systems, the load is shared between the raft and the piles, unlike traditional pile foundations. This design allows for a reduction in the number of piles required, as the raft provides redundancy and facilitates load redistribution. These systems are particularly advantageous in situations where some piles may be defective or encounter variable subsoil conditions, such as karstic formations, thereby enhancing overall foundation performance and reliability (Poulos et al., 2011). An additional characteristic of piled raft foundations, often overlooked, is the ability of the raft to exert pressure on the soil, which in turn enhances the lateral stress between the soil and the piles beneath. This interaction can lead to an increase in the ultimate load capacity of the piles compared to when they are used independently without the raft's influence (Katzenbach et al., 1998). Piled raft foundations can be implemented in dense sand and stiff clay soils (Das, B. M., & Sivakugan, N., 2018). Poulos (2001) analyzed various simplified soil profiles and identified that relatively stiff clays and dense sands are particularly favorable conditions. These foundations fail to perform their intended function in loose sand, soft clay, or expansive soils.

In the piled raft foundation system, where the raft has sufficient bearing capacity, the primary purpose of the piles is to control or minimize average and differential displacements rather than bearing the majority of the load, making the optimal design of the piles a critical consideration (Prakoso and Kulhawy, 2001). Therefore, significant efforts have been devoted to developing models for piled rafts, leading to numerous parametric studies that examine the effects of system geometry and soil conditions on the performance of piled rafts. Among these methods, programs capable of performing numerical analyses using the finite element method are frequently preferred (Ali et al., 2023; Malviya et al., 2023; Tarenia et al., 2024; Singh et al., 2024).

In geotechnical engineering, methods utilizing the Finite Element Method (FEM) are widely used due to their ability to model complex soil-structure interactions and provide detailed insights into the behavior of foundations under various loading conditions. The main advantages of FEM include its flexibility in handling irregular geometries, ability to account for nonlinear material behavior, and capacity to model different types of loads and boundary conditions. In these methods, the analysis is carried out by discretizing the problem domain into smaller elements, solving the governing equations for each element, and then combining the results to predict the overall behavior of the structure. Plaxis 3D is one such program that employs FEM to simulate the behavior of geotechnical systems (Arslan et al., 2024). It offers advanced capabilities for modeling soil-structure interactions, enabling engineers to analyze and design foundations, slopes, tunnels, and other geotechnical structures. Plaxis 3D can also reflect parametric variations in piled raft foundation analyses, allowing for the study of different soil conditions, pile configurations, and loading scenarios, making it a valuable tool for geotechnical engineers.

In this study, a piled raft foundation system supporting a hypothetical 30-story building was modeled using PLAXIS 3D software to investigate settlement behavior and the influence of pile configurations. Initially, a uniformly distributed load of 400 kPa was applied to the raft foundation. The model was then expanded to include the superstructure in three dimensions. Various pile spacing configurations were analyzed to offer a more economical and optimal solution for piled raft foundation design.

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, a piled raft foundation design with superstructure interaction was performed. A hypothetical building model was created for the analysis using the Finite Element Method. The soil model chosen for this study is based on the soil conditions of Frankfurt, which are consistent with the load-sharing principle of piled raft foundations and are characterized by stiff clays. Frankfurt is known for its skyline, with numerous high-rise buildings. Piled raft foundations are frequently used for multi-story buildings constructed on Frankfurt's clayey soils. The heights of the buildings constructed on foundations to reduce settlement in the city exceed 250 meters (Arslan, U., Quick, H., Moormann, C., & Reul, O., 1999). While creating the hypothetical building model, multi-story buildings in Frankfurt were considered. Details of the hypothetical building model are provided in Section 2.3.

In the first phase of the study, both the foundation and superstructure were modeled together using PLAXIS 3D software for analysis. Based on the results obtained, the analysis was repeated by transferring the superstructure load to the raft foundation as a uniformly distributed load, in order to compare the raft foundation behavior. Displacements and moment values on the foundation were compared between both analyses.

In the next phase of the study, to demonstrate the settlement-reducing effect of piled raft foundations and highlight the advantages over traditional piled foundation design, finite element analyses were conducted with superstructure interaction, and pile optimization was performed. In the superstructure-interactive model, the effect of varying pile spacing on the raft foundation was investigated, keeping parameters such as foundation thickness, pile diameter, and pile length constant. In the analysis model, a pile diameter of 1.0 meter, pile length of 20.0 meters, and raft foundation thickness of 1.0 meter were used. The piles added to the raft were distributed homogeneously, with pile spacings of 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, and 5 meters. The number of piles in the modeled configurations was 45, 50, 72, 91, 120, 162, and 262, respectively. In addition to the settlement-reducing effect of the piles, the relationship between increasing pile numbers and the displacements in the raft foundation was also examined.

For more accurate data, a volume was defined in the analysis where the foundation dimensions were three times the size in the x and y directions, and 40 meters in the z direction. More elements were defined in the software for the finite element nodes created within this volume. The mesh size created within this volume was 16 times finer than the mesh size outside this volume.

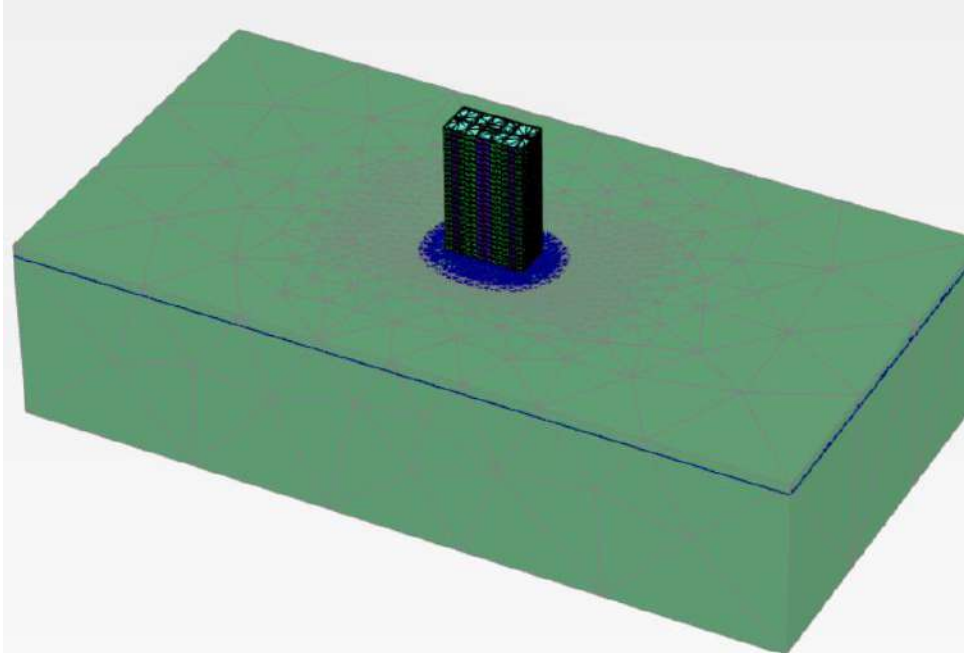


Figure 5. Finite element mesh

During the analysis phases, the first step involved defining the natural state of the soil. In the initial phase, excavation for the foundation and the construction of the foundation and basement walls were performed. In the final phase, the building was modeled. To compare the results of analyses with different pile spacings and loadings, nine different node points (A, B, C, D, E, F, G, H, and I) were selected on the raft foundation. The locations of these points on the foundation are shown in **Figure 6**.

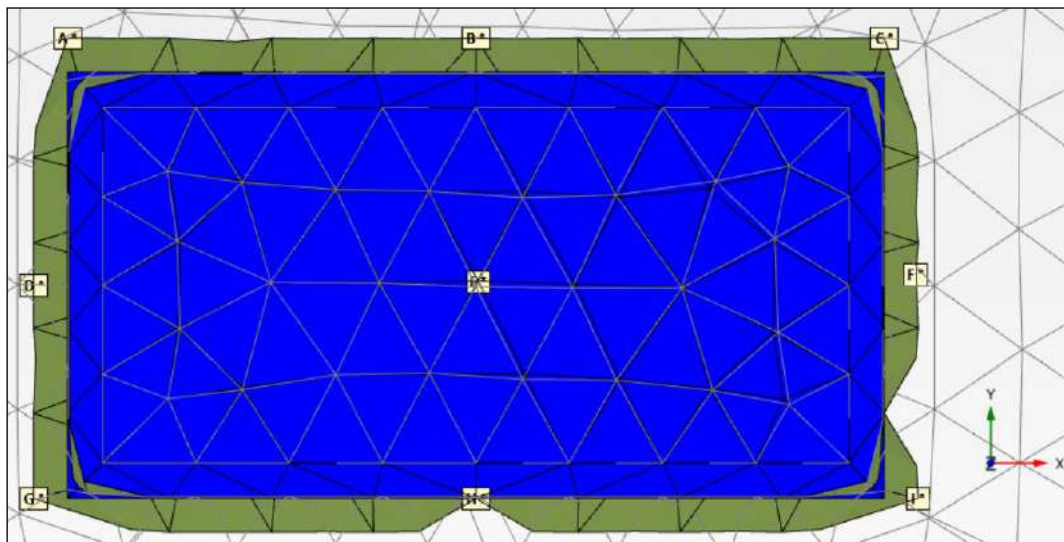


Figure 6. The selected nodes on foundation

In this study, the soil model used is the Hardening Soil Model, and the reinforced concrete piles are modeled as embedded beams. The columns, beams, slabs, walls, and foundation elements of the superstructure are modeled as plates.

2.1. Soil Properties

In this study, the soil parameters for Frankfurt clay, composed of over-consolidated clays, were used. According to the soil investigation studies conducted by O. Reul and F. Randolph (2003) for the Westend 1 and Messeturm Buildings, the groundwater level in the region is located approximately 4.5 to 7.0 meters below the surface. In this study, the groundwater level was modeled to be approximately 6 meters below the surface, and the parameters for the soil modeled as Hardening Soil were taken from El-Mossallamy YM (2004) and are provided in **Table 1**.

Table 1. Soil parameters in numeric model

Identification number	1		
Identification	Name	Unit	Frankfurt Clay
Soil model	Model	-	Hardening Soil
Drainage type	Type	-	Drained
Unsaturated unit weight	γ_{unsat}	kN/m ³	20.00
Saturated unit weight	γ_{sat}	kN/m ³	20.00
Void ratio	e_{init}		0.50
Secant stiffness	E_{50}^{ref}	kN/m ²	4.50E+04
Tangent stiffness	$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	kN/m ²	4.50E+04
Unloading/reloading stiffness	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	kN/m ²	9.00E+04
Poisson's ratio	ν_{ur}	-	0.30
Power for stress-level dependency of stiffness	power (m)	-	0.50
Reference pressure	p_{ref}	kN/m ²	100.00
Cohesion	c'_{ref}	kN/m ²	20.00
Friction angle	ϕ' (phi)	°	20.00
Dilatancy angle	ψ (psi)	°	0
Cohesion increment	c'_{inc}	kN/m ² /m	0
Reference level	z_{ref}	m	0
K0-value for normal consolidation	K_0^{nc}	-	0.658
Friction ratio	R_f	-	0.90
Interface strength reduction factor	R_{inter}	-	1.00
Lateral earth pressure coefficient	$K_{0,x}$	-	0.8
Lateral earth pressure coefficient	$K_{0,y}$	-	0.8
Overconsolidation ratio	OCR	-	1.50

2.2. Structural Properties

The superstructure model used in this study was hypothetically created based on high-rise buildings located in Frankfurt. The details of the created structure are provided in **Table 2**.

Table 2. Structural properties

STRUCTURAL PROPERTIES	
Max height (m)	87 m
Storey	29 storey
Number of basement	1 basement
Area of the foundation (m ²)	1104.0 m ²
Elevation of the foundation (m)	-3.0 m
Thickness of the foundation (m)	1.0 m
Slenderness of the building (H/B)	3.625
Total load acting on the foundation (G+P) (MN)	446.35 MN
Stress of the foundation (kPa)	404.31 kPa

The thickness of the shear walls in the structure is 50 cm, while the slab and wall thicknesses are modeled as 30 cm. The beam sections in the structure are 50 cm x 70 cm. In the PLAXIS 3D software, the structural elements are modeled as plates, and the pile elements are modeled as embedded beams. The parameters used for the structure are provided in **Table 3**.

Table 3. Structural parameters

Identification number		1	2	3	4	5	6
Identification	Unit	Raft	Basement Wall	Column	Beam	Slab	Wall
Material type	-	Elastic	Elastic	Elastic	Elastic	Elastic	Elastic
γ	kN/m ³	5	25	25	25	25	10
E ₁	kN/m ²	3.00E+07	3.00E+07	3.00E+07	3.00E+07	3.00E+07	2.00E+07
E ₂	kN/m ²	3.00E+07	3.00E+07	3.00E+07	3.00E+07	3.00E+07	2.00E+07
ν_{12}	-	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
d	m	1	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3
G ₁₂	kN/m ²	1.20E+07	1.20E+07	1.20E+07	1.20E+07	1.20E+07	8.00E+06

Identification number	1
Identification	Unit
Material type	-
γ	kN/m ³
Cross section type	-
Predefined cross section type	-
Diameter	m
Area	m ²
I ₂	m ⁴
I ₃	m ⁴
E	kN/m ²
Axial skin resistance	-
T _{max}	kN/m
F _{max}	kN

3. RESULTS AND DISCUSSION

In PLAXIS 3D software, the construction stages are defined in three steps. The first stage represents the natural state of the soil before any loading is applied. The second stage corresponds to the situation where the foundation excavation is completed, and the foundation, piles, and basement shear walls have been constructed. In the final stage, the superstructure load is applied to the foundation. The structural load is transferred to the foundation in two ways: as a uniformly distributed load and the superstructure itself.

3.1. Effect of the Loading Conditions

To observe the effect of the superstructure on the raft foundation, a hypothetical superstructure model was created in PLAXIS 3D, and the loads from the structural elements were directly applied to the foundation for analysis. Additionally, the superstructure load was applied to the raft foundation as a uniformly distributed load. As a result of the analyses, the displacements occurring in the raft foundation are shown in **Figure 7**. Prior to the analysis, displacement values were recorded from sections taken at selected points on the foundation and presented graphically in **Figure 8** for both analyses. The moments on the raft foundation modeled as a plate are summarized in **Table 4**. When examining the displacements on the raft foundation, it was observed that the displacements in the case where the superstructure was modeled were concentrated at the edges of the foundation. In the distributed load model, on the other hand, it was found that the displacements were greater in the central part of the raft foundation. Looking at the structural model, it was observed that the loads transferred to the foundation were higher at the edges. It was concluded that the model where the structural load is directly applied to the foundation is more realistic.

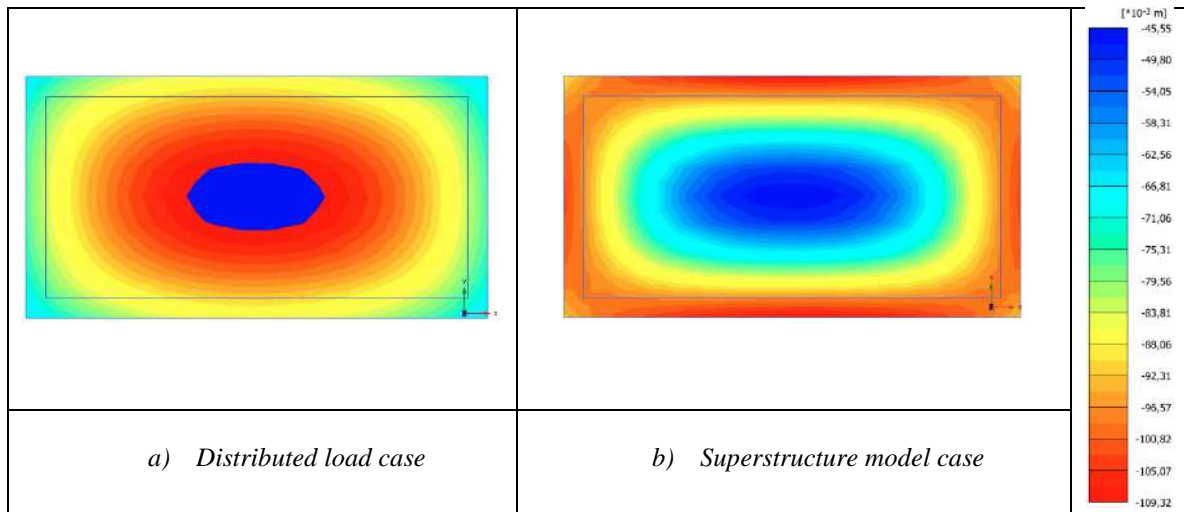


Figure 7. Displacements on the raft foundation under different loading conditions

Table 4. Moments in raft foundation under different loading conditions

ANALYSIS	RESULTS			
	Max. Settlement (mm)	M ₁₁ (kNm/m)	M ₂₂ (kNm/m)	M ₁₂ (kNm/m)
Distributed load case	143.6	-1514.0	-1729.0	-576.9

Superstructure model 109.3 -2622.0 3884.0 1660.0

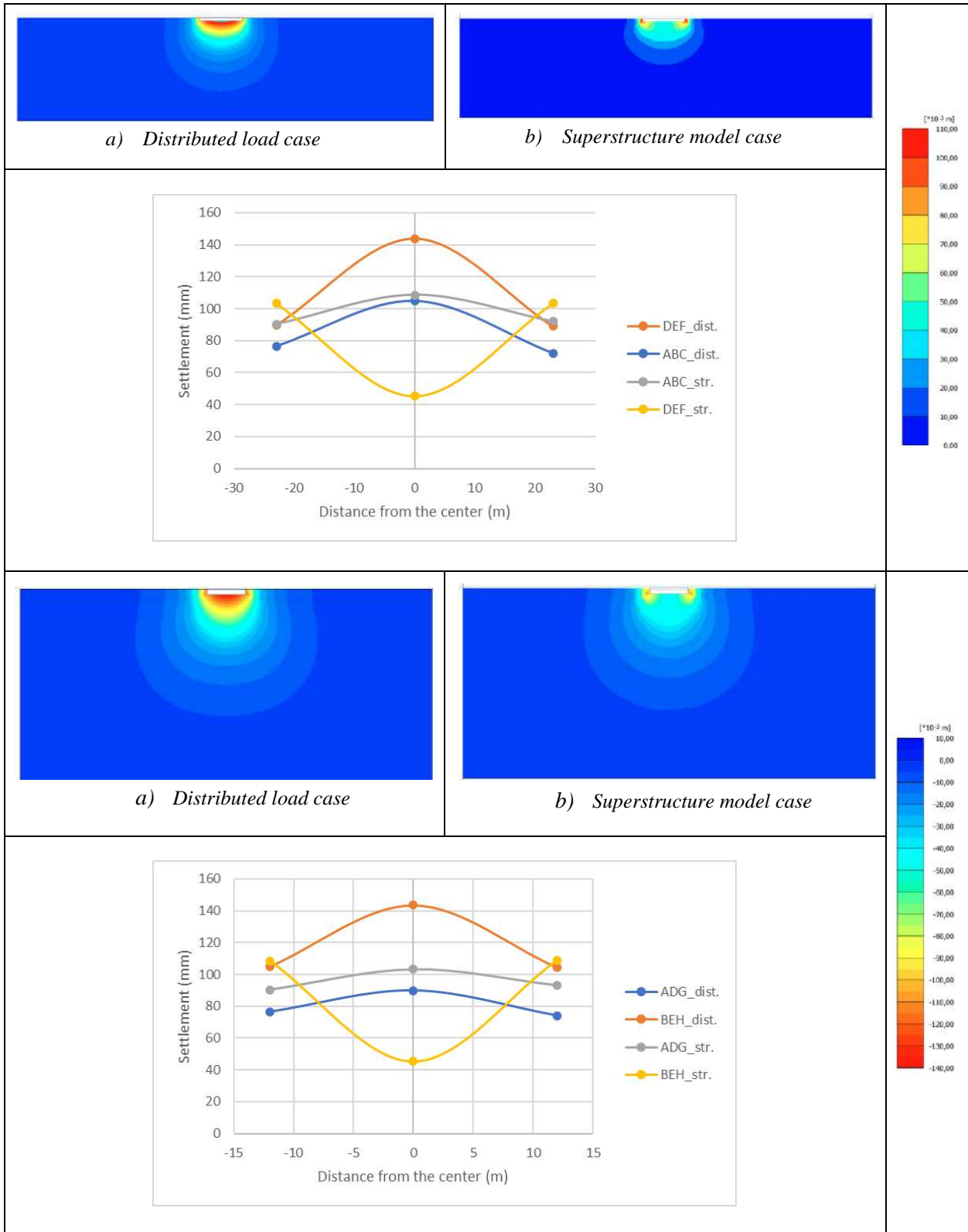


Figure 8. Graphical representation of displacements in raft foundation under different load conditions

3.2. Optimization of the Piled Raft Foundation

At this stage of the study, the optimization of piled raft foundations in the superstructure-interactive model was investigated. The pile lengths and diameters were kept constant, and the effect of varying pile spacing on raft foundation behavior was examined.

An optimization study was conducted for piled raft foundations in the superstructure-interactive model by keeping the raft thickness, pile diameter, and pile length constant while modifying the pile layout. In each case, the pile arrangement was designed with equal spacing along the x and y axes. The analyses were performed for pile spacings of 2.0 m x 2.0 m, 2.5 m x 2.5 m, 3.0 m x 3.0 m, 3.5 m x 3.5 m, 4.0 m x 4.0 m, 4.5 m x 4.5 m, and 5.0 m x 5.0 m.

The impact of pile layout on settlements in the raft foundation was evaluated based on the analysis results. The relationship between the changes in pile spacing (S/D) and the displacements occurring in the foundation is illustrated in **Figure 9** and **Figure 10**. The relationship between the increase in spacing between piles and the moments occurring in the raft foundation is provided in **Table 5**.

Table 5. Effect of pile spacing on moments in raft foundation

ANALYSIS	RESULTS				
	Number of Pile	Max. Settlement (mm)	M ₁₁ (kNm/m)	M ₂₂ (kNm/m)	M ₁₂ (kNm/m)
Superstructure model	-	109.3	-2622	3884	1660
Spacing 5.0 x 5.0	45	62.59	-2106	2393	1317
Spacing 4.5 x 4.5	50	64.24	-2553	2395	1468
Spacing 4.0 x 4.0	72	46.82	-2484	1577	-890.6
Spacing 3.5 x 3.5	91	41.35	1070	-1708	752.3
Spacing 3.0 x 3.0	120	37.72	-1047	-1556	672.4
Spacing 2.5 x 2.5	162	38.69	-1146	-987.2	-655.1
Spacing 2.0 x 2.0	242	38.39	-713.5	808.7	587.6

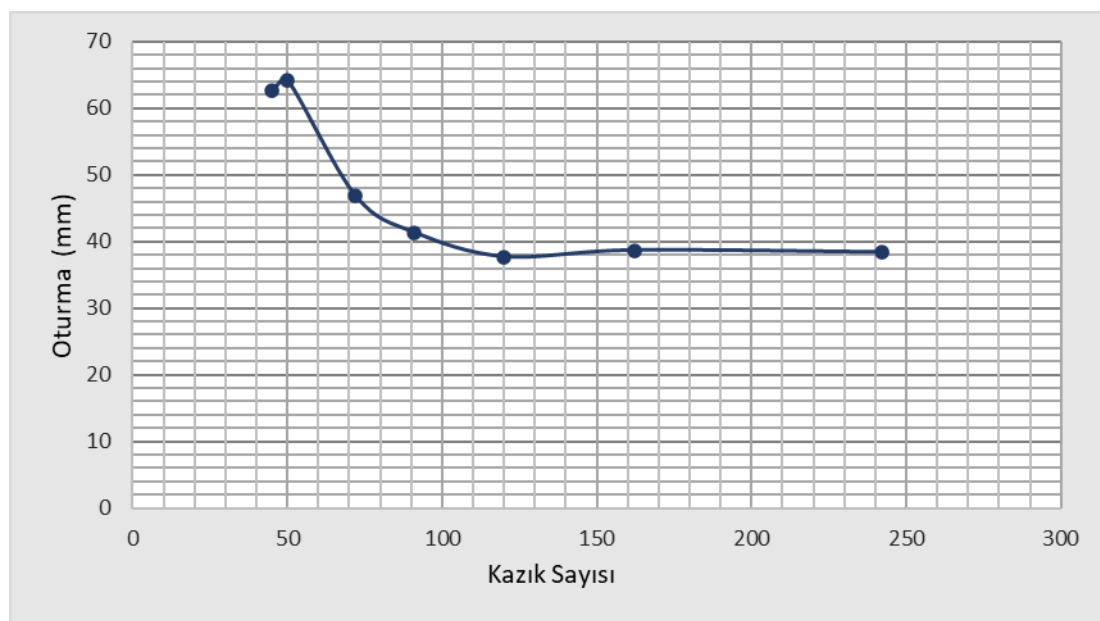


Figure 9. Effect of the number of the piles for settlement

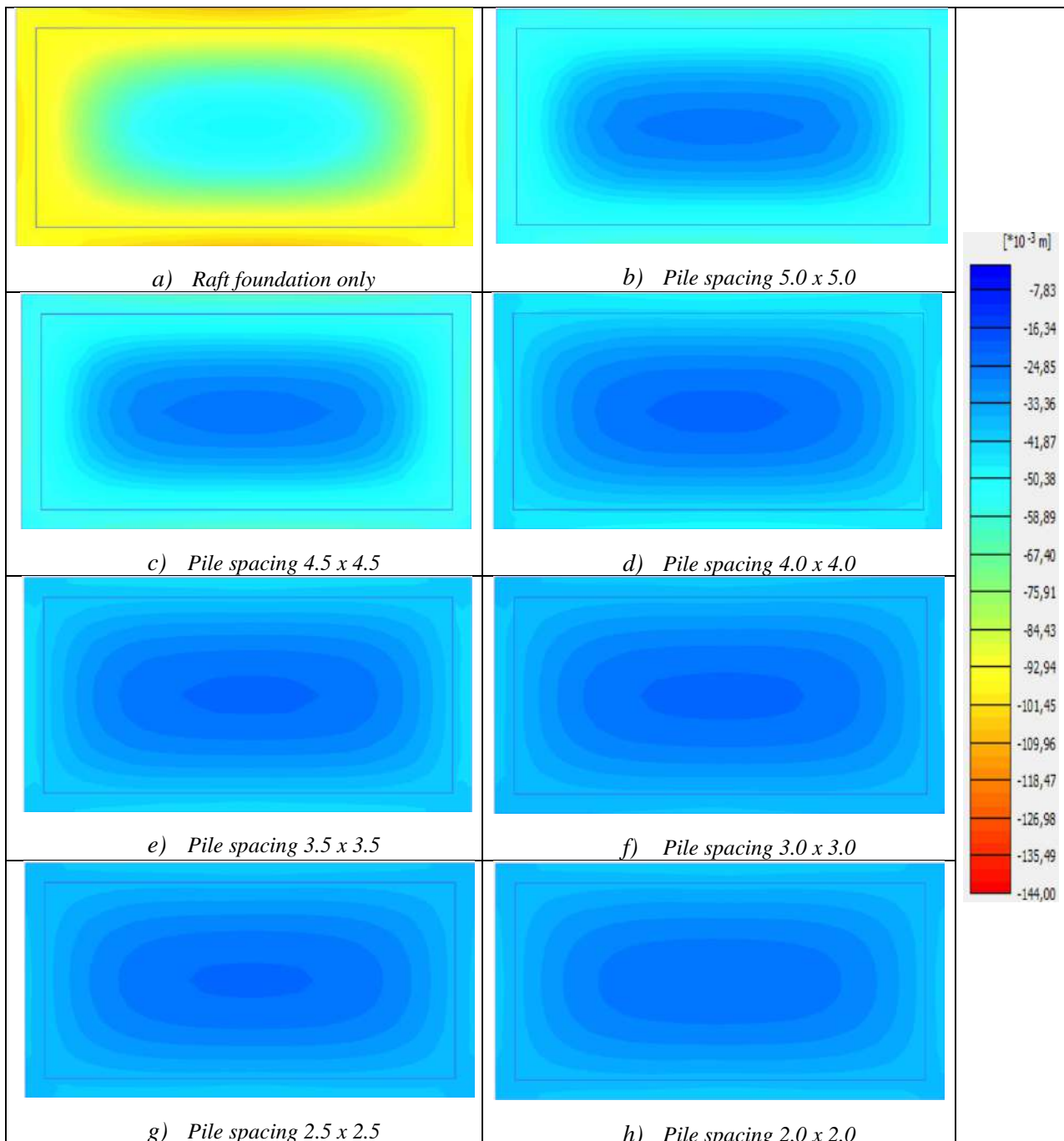


Figure 10. Effect of pile spacing on displacements in raft foundation

4. CONCLUSIONS

In this study, the behavior of piled raft foundations under the influence of superstructure interaction was analyzed, focusing on the optimization of pile spacing to achieve an economical and effective design while reducing displacements and stresses in the foundation. The analyses

demonstrated that loading conditions in piled raft foundations provide more realistic results for foundation design. When comparing the results of the analysis performed with a distributed load to those obtained with a building model, it was observed that displacements in the raft foundation were concentrated in the center for the distributed load case. In contrast, for the building model analysis, deformations were predominantly observed at the edges of the foundation. Furthermore, a 65% difference was identified in the moments obtained from both analyses. From the perspective of foundation reinforcement design, it was concluded that the manner in which superstructure loads are transferred to the foundation significantly impacts the ability to achieve an economical design. Based on both analysis results, it was determined that modeling the superstructure is necessary to propose a more realistic and economical solution for reducing raft foundation displacements.

In the superstructure-interactive model, a piled raft foundation design was implemented to reduce stresses in the raft foundation to acceptable limits. Analyses were conducted to examine the effects of varying pile spacing on the raft foundation while keeping pile diameter and length constant. Increasing the density of homogeneously placed piles reduced displacements in the raft foundation. However, when analyzing the relationship between the number of piles and foundation displacements, it was observed that beyond a certain point, increasing the number of piles did not result in significant reductions in displacement. This indicates that achieving an optimal number of piles in piled raft foundation design ensures a more economical solution.

Piled raft foundations offer a more economical solution for reducing settlements compared to traditional pile foundations. For optimal design, the number and placement of piles should be maintained at an optimum level.

REFERENCES

- Arslan, U., Quick, H., Moormann, C., & Reul, O. (1999). Geotechnische in-situ Messungen an Hochhausgründungen und baubegleitende Qualitätssicherungsmaßnahmen." In Hochhäuser" Darmstädter Statik-Seminar.
- Das, B. M., & Sivakugan, N. (2018). Principles of foundation engineering. Cengage learning.
- Ali. A. M., Karkush. M. O., & Al-Jorany. A. N. (2023). Numerical modeling of connected piled raft foundation under seismic loading in layered soils. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*. 32(1). 20220250.
- Arslan. E., Kayaturk. D., Durmus. M.R., Bagca. I., Imamoglu. T., Sert. S. The Role of Utilizing Load in Different Cases While Numerical Modeling of Multi-story Buildings on Alluvial Stratum: A Comparison Study. *Arab J Sci Eng* 49. 13845–13860 (2024).
- El-Mossallamy YM (2004) The interactive process between field monitoring and numerical analyses by the deployment of piled raft foundation. *Geotechnical innovation. international symposium. university of Stuttgart*
- Katzenbach. R., Arslan. U., Moorman. C. and Reul. O. (1998). "Piled Raft Foundations: Interaction Between Piles and Raft". *Darmstadt Geotechnics. Darmstadt University of Technology*. 4: pp279-296.
- Malviya. D. K., Ansari. A., & Samanta. M. (2023). Settlement and load sharing behavior of piled raft foundation: a review. *Innovative Infrastructure Solutions*. 8(11). 305.
- Poulos. H.G. (2001). "Piled raft foundations: design and applications" . *Géotechnique*. 51 (2). pp.95-113.
- Poulos. H. G., Small. J. C., & Chow. H. (2011). Piled raft foundations for tall buildings. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*. 42(2). 78-84.
- Reul. O., & Randolph. M. F. (2003). Piled rafts in overconsolidated clay: comparison of in situ measurements and numerical analyses. *Geotechnique*. 53(3). 301-315.
- Singh. G. G., Tiwari. R. P., & Kumar. V. (2024). Parametric study of combined piled raft foundation for uniformly distributed surcharge over raft top surface. *Sādhanā*. 49(4). 291.
- Tarenia. K., Patra. N.R., Rajesh. S. et al. Long-Term Response of Piled-Raft Foundations Subjected to Incremental Compressive Loads. *Arab J Sci Eng* 49. 5785–5816 (2024). <https://doi.org/10.1007/s13369-023-08426-z>

THE PERFORMANCE COMPARISON OF BOOSTING-BASED MACHINE LEARNING METHODS IN BREAST CANCER RISK ANALYSIS

Dr. Şeyma YAŞAR

Inonu University

seyma.yasar@inonu.edu.tr - 0000-0003-1300-3393,

Prof. Dr. Cemil ÇOLAK

Inonu University

cemil.colak@inonu.edu.tr - 0000-0001-5406-098X

ABSTRACT

Breast cancer is one of the most common types of cancer in women, and early diagnosis and determination of risk factors are of critical importance for the prevention and management of the disease. In this study, two different machine learning models (Extreme Gradient Boosting; XGBoost, Stochastic Gradient Boosting; SGB) were developed to estimate the risk of breast cancer and to determine possible risk factors. The data used in the study were taken from the UCI machine learning repository and consisted of age (years), BMI (kg/m^2), glucose (mg/dL), insulin ($\mu\text{U}/\text{mL}$), HOMA, leptin (ng/mL), adiponectin ($\mu\text{g}/\text{mL}$), resistin (ng/mL) and MCP-1 (pg/dL) clinic features. 5-fold cross-validation from resampling methods was applied in the study. While the accuracy value for the XGBoost model in predicting the presence of breast cancer was 91.38%, the accuracy value for the SGB model was obtained as 87.93. Depending on the XGBoost model that can best classify breast cancer, the variables included in the model were determined as glucose (mg/dL), resistin (ng/mL), age (years), BMI (kg/m^2), HOMA, Adiponectin ($\mu\text{g}/\text{mL}$), Leptin (ng/mL), Insulin ($\mu\text{U}/\text{mL}$) and MCP-1 (pg/dL) according to their significance values. In the light of these findings, it is revealed that the integration of machine learning methods with biomedical data can be an effective tool in breast cancer risk estimation and determination of risk factors. In particular, the superior performance of XGBoost is promising for individualized risk assessment systems. The findings obtained may provide significant contributions to the development of strategies for the prevention of the disease and clinical decision support systems.

Keywords : Breast cancer, Machine learning, XGBoost, SGB, Boosting-Based Machine Learning.

1. INTRODUCTION

Breast cancer is the most common type of cancer among women worldwide, with approximately 2.3 million new cases diagnosed each year. This disease, which is the leading cause of cancer-related deaths in women, poses a significant burden on global health systems. Breast cancer occurs as a result of uncontrolled proliferation of cells in the breast tissue, and if not detected early, it can spread to distant organs (metastasis) and become life-threatening. Early diagnosis of breast cancer is of critical importance for treatment success and survival rates. While the 5-year survival rate can be as high as 99% in breast cancer cases diagnosed at an early stage, this rate drops significantly in advanced stages. Therefore, the development of new and effective diagnostic methods for early detection of the disease is among the primary goals of modern oncology [1, 2].

In recent years, developments in artificial intelligence and machine learning technologies have opened new horizons in the early diagnosis of breast cancer. These technologies have the ability to analyze more complex data structures and reveal complex relationships between variables compared to classical statistical methods. Machine learning algorithms provide great advantages, especially in detecting non-linear relationships between various biomarkers and determining the importance levels of risk factors. Machine learning-based approaches allow for early prediction of breast cancer risk by integrating clinical data, imaging results and laboratory parameters. These methods contribute to faster and more accurate diagnostic processes by providing decision support systems to healthcare professionals. In addition, they enable more effective planning of preventive healthcare services by ensuring early detection of high-risk individuals. In recent years in particular, understanding the role of metabolic and inflammatory markers in the development of breast cancer has brought a new dimension to early diagnosis strategies. Machine learning algorithms offer promising results for detecting the disease before clinical findings appear by analyzing the complex interactions of these biomarkers. In addition to increasing the effectiveness of traditional screening methods, this approach also makes significant contributions to the development of personalized risk assessment and treatment strategies. In addition, determining the importance of various biomarkers in the disease process sheds light on both the optimization of the diagnostic process and the identification of new therapeutic targets [3, 4].

In this study, our aim was to evaluate the relationship between metabolic and inflammatory markers (age, BMI, glucose, insulin, HOMA, leptin, adiponectin, resistin and MCP-1) and breast cancer in a study group consisting of 64 patients diagnosed with breast cancer and 52 healthy controls using machine learning algorithms (XGBoost and Stochastic Gradient Boosting) and to determine the predictive values of these parameters in early diagnosis of the disease according to their order of importance.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Data Set

The dataset used in this study consists of metabolic and inflammation markers for 116 individuals, which can be freely accessed from the open access address "<https://www.kaggle.com/datasets/ankitbarai507/breast-cancer-dataset>". While the mean age of patients diagnosed with breast cancer among the individuals included in the study was 58.08 ± 18.96 , the mean age of the group without breast cancer was 56.67 ± 13.49 . In the models,

age, bmi, glucose, insulin, HOMA (Homeostatic Model Assessment), leptin, adiponectin, resistin and MCP-1 (Monocyte Chemoattractant Protein-1) variables were accepted as input variables, and breast cancer diagnosis (yes/no) was accepted as output variable [5].

2.2. Data Preprocessing

In machine learning, resampling methods are frequently used important techniques to optimize model performance and obtain reliable results. Resampling methods, especially k-fold cross-validation, allow the model to be tested on different subsets of the dataset, helping to evaluate the generalization ability of the model and prevent overfitting problems. This approach prevents the model from overfitting the training data while also providing consistent performance on the test data. In addition, creating different samples from the dataset using techniques such as bootstrap contributes to the optimization of model parameters and increasing the reliability of the results. In this way, the performance of the model on different pieces of data is evaluated, and the stability and consistency of the algorithm are tested. In this study, 5-fold cross-validation is used [6].

2.3. Boosting machine learning methods used in classification

Boosting algorithms constitute a powerful subclass of ensemble learning methods in machine learning. These algorithms are basically based on the principle of creating a strong learning model by sequentially combining multiple weak learners (usually shallow decision trees). Each weak learner focuses on the errors of the previous model and tries to correct them, and this process continues for a specified number of iterations or until a specified error threshold value is reached. Boosting algorithms give more weight to the incorrectly classified or predicted examples at each step, ensuring that these examples are learned better in subsequent iterations. This approach allows the model to become more complex and powerful over time. Gradient boosting algorithms, in particular, try to optimize the loss function by calculating the negative gradient of the previous model at each step. These methods are widely used today thanks to their advantages such as high prediction accuracy, ability to determine variable importance levels, and applicability to different data types [7]. XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) and Stochastic Gradient Boosting are two important members of this family, both of which use the gradient boosting principle but exhibit different approaches. XGBoost works faster and with less memory usage thanks to its use of a more sophisticated loss function including regularization, parallel computing capability and a special tree growing algorithm, while Stochastic Gradient Boosting focuses on reducing the variance of the model and preventing overfitting by using a random subset of the dataset in each iteration (bagging principle); this approach can provide better generalization performance especially in noisy data and reduce computational burden. While XGBoost generally provides higher prediction performance and faster training time, it is seen that Stochastic Gradient Boosting can generalize better in some cases and is more resistant to overfitting thanks to its randomness feature [8, 9].

3. RESULTS

The descriptive statistics for the input variables included in the model are given in Table 1.

Table 1. The descriptive statistics for variables included in the model

	Prostate Cancer				p-value
	Control		Breast Cancer		
	Mean±SD	Median(Min-Max)	Mean±SD	Median(Min-Max)	
Age	58.08±18.96	65(24-89)	56.67±13.49	53(34-86)	0.477
BMI	28.32±5.43	27.69(18.67-38.58)	26.98±4.62	27.41(18.37-37.11)	0.200
Glucose	88.23±10.19	87(60-118)	105.56±26.56	98.5(70-201)	<0.001
Insulin	6.93±4.86	5.48(2.71-26.21)	12.51±12.32	7.58(2.43-58.46)	0.026
HOMA	1.55±1.22	1.14(0.47-7.11)	3.62±4.59	2.05(0.51-25.05)	0.003
Leptin	26.64±19.33	21.49(4.31-83.48)	26.6±19.21	18.88(6.33-90.28)	0.947
Adiponectin	10.33±7.63	8.13(2.19-38.04)	10.06±6.19	8.45(1.66-33.75)	0.764
Resistin	11.61±11.45	8.93(3.29-82.1)	17.25±12.64	14.37(3.21-55.22)	0.002
MCP-1	499.73±292.24	471.32(45.84-1256.08)	563.02±384	465.37(90.09-1698.44)	0.502

Performance metrics for two different machine learning methods used to classify breast cancer are given in Table 2.

Table 2. Performance metrics for XGBoost and Stochastic Gradient Boosting methods used to classify breast cancer

Metrics	Machine Learning Models	
	XGBoost (%)	SGB (%)
Accuracy	91.4	87.9
Sensitivity	92.2	92.2
Specificity	90.4	82.7
F1-Score	92.2	89.4
Matthews Correlation Coefficient (MCC)	82.6	75.6

Considering the accuracy values from the performance metrics in Table 2, the model that can best classify breast cancer based on metabolic and inflammation markers is XGBoost. On the other hand, the importance ranking of metabolic and inflammation markers based on the XGBoost model is given in Figure 1.

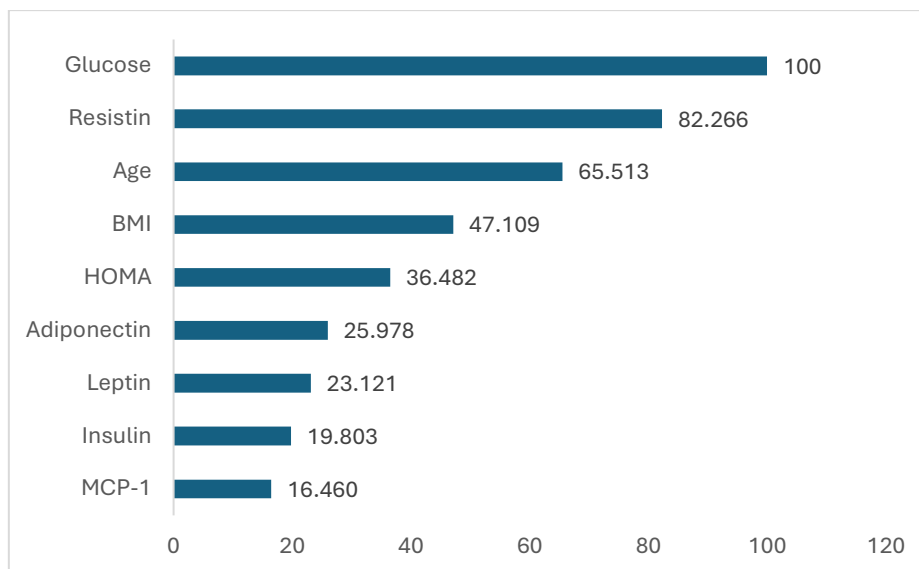


Figure 1. The importance of the variables based on the XGBoost optimal model in predicting breast cancer

According to these values, five variables that can be used as possible biomarkers in predicting breast cancer can be said to be glucose, resistin, age, BMI, and HOMA.

CONCLUSION

Breast cancer, one of the most common cancers in women, typically occurs in middle to advanced age and is caused by a combination of genetic, hormonal and environmental factors. Treatment options for breast cancer include surgery, radiotherapy, hormone therapy and chemotherapy, depending on the stage of the disease and the patient's general health status. Early detection significantly improves treatment success, making regular mammogram screenings and breast self-examinations vital screening methods since breast cancer may not show clear symptoms in early stages [10]. When the performance metrics of this classification were evaluated, XGBoost had the best classification results with 91.4% accuracy, 92.2% sensitivity, 90.4% specificity, 92.2% F1-Score and 82.6% MCC values. On the other hand, according to the variable importances depending on the XGBoost optimal model, five possible risk factors for predicting breast cancer were determined as glucose, resistin, age, BMI, and HOMA.

Glucose plays an important role in the diagnosis and treatment of breast cancer. Radiolabeled glucose (FDG), especially used in PET imaging, provides critical information in the diagnosis and staging of the disease by detecting high glucose uptake by tumor cells. The fact that cancer cells consume more glucose than normal cells (Warburg effect) is used as an indicator to evaluate the aggressiveness of the tumor. This metabolic feature has led to the development of new therapeutic approaches targeting glucose metabolism and to the investigation of the potential role of diabetes drugs (e.g. metformin) in the treatment of breast cancer [11].

On the other hand, resistin is important as a potential biomarker in the diagnosis and treatment of breast cancer. This protein, produced in adipose tissue, plays a role in the progression of the

disease by affecting the proliferation and metastasis of breast cancer cells. High resistin levels have been associated with an increased risk of breast cancer and poor prognosis. Recent studies show that resistin levels can be used in early diagnosis and that targeting the resistin pathway may be important in developing new treatment strategies. It is also thought that resistin levels can be used to monitor response to treatment [12].

Age is also a critical factor in the diagnosis and treatment of breast cancer. The risk of breast cancer increases with age, and its incidence is particularly high in women over the age of 50. Therefore, regular mammography screenings are recommended after the age of 40. Age also plays an important role in determining the treatment approach; while more aggressive treatment options are generally preferred in younger patients, more conservative approaches can be adopted in older patients, taking into account the patient's general health status and quality of life. Since the role of genetic factors is more pronounced in breast cancer cases that occur at an early age, genetic testing and counseling services are gaining importance [13].

Body mass index (BMI) is an important factor in breast cancer risk assessment and treatment. High BMI and obesity increase the risk of breast cancer in postmenopausal women, while also complicating the diagnostic process because excess fat tissue can reduce the effectiveness of mammography and physical examination. In terms of treatment, high BMI can increase the risk of surgical complications and affect radiotherapy planning. In addition, drug doses may need to be adjusted in obese patients, and treatment response rates may vary. Therefore, it is recommended to maintain a healthy BMI and make necessary lifestyle changes during breast cancer treatment [14].

The HOMA (Homeostasis Model Assessment) index is an important metabolic marker in breast cancer risk assessment and prognosis. High HOMA-IR values, which indicate insulin resistance, have been associated with increased breast cancer risk and worse prognosis. Studies show that high HOMA values can affect tumor growth and aggressiveness. Therefore, monitoring HOMA values can be used both in risk assessment and in monitoring treatment response. In addition, lifestyle changes and medical interventions applied to control HOMA values can positively affect the success of breast cancer treatment [15].

In conclusion, the evaluation of multiple factors is an important approach in the early diagnosis and treatment of breast cancer. The combined evaluation of parameters such as age, BMI, glucose metabolism, resistin levels and HOMA index provides more comprehensive information in the risk assessment and prognosis estimation of the disease. Regular monitoring and control of these parameters both increases the chance of early diagnosis and positively affects the success of treatment. The holistic evaluation of these parameters, especially in high-risk patient groups, allows the development of personalized screening programs and treatment strategies. This approach offers a promising perspective in terms of early detection of breast cancer and more effective treatment results.

REFERENCES

- [1] Y.-S. Sun, Z. Zhao, Z.-N. Yang, F. Xu, H.-J. Lu, Z.-Y. Zhu, *et al.*, "Risk factors and preventions of breast cancer," *International journal of biological sciences*, vol. 13, p. 1387, 2017.

- [2] S. Łukasiewicz, M. Czezelewski, A. Forma, J. Baj, R. Sitarz, and A. Stanisławek, "Breast cancer—epidemiology, risk factors, classification, prognostic markers, and current treatment strategies—an updated review," *Cancers*, vol. 13, p. 4287, 2021.
- [3] W. Yue, Z. Wang, H. Chen, A. Payne, and X. Liu, "Machine learning with applications in breast cancer diagnosis and prognosis," *Designs*, vol. 2, p. 13, 2018.
- [4] D. Wong and S. Yip, "Machine learning classifies cancer," ed: Nature Publishing Group UK London, 2018.
- [5] A. K. Barai. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/anakitbarai507/breast-cancer-dataset>
- [6] I. Tougui, A. Jilbab, and J. El Mhamdi, "Impact of the choice of cross-validation techniques on the results of machine learning-based diagnostic applications," *Healthcare informatics research*, vol. 27, pp. 189-199, 2021.
- [7] A. V. Konstantinov and L. V. Utkin, "Interpretable machine learning with an ensemble of gradient boosting machines," *Knowledge-Based Systems*, vol. 222, p. 106993, 2021.
- [8] X. Su and M. Bai, "Stochastic gradient boosting frequency-severity model of insurance claims," *PloS one*, vol. 15, p. e0238000, 2020.
- [9] Y. Qiu, J. Zhou, M. Khandelwal, H. Yang, P. Yang, and C. Li, "Performance evaluation of hybrid WOA-XGBoost, GWO-XGBoost and BO-XGBoost models to predict blast-induced ground vibration," *Engineering with Computers*, vol. 38, pp. 4145-4162, 2022.
- [10] K. Shaikh, S. Krishnan, and R. M. Thanki, *Artificial intelligence in breast cancer early detection and diagnosis*: Springer, 2021.
- [11] E. Shin and J. S. Koo, "Glucose metabolism and glucose transporters in breast cancer," *Frontiers in cell and developmental biology*, vol. 9, p. 728759, 2021.
- [12] Y.-Y. Wang, A. C. Hung, S. Lo, and S.-S. F. Yuan, "Adipocytokines visfatin and resistin in breast cancer: Clinical relevance, biological mechanisms, and therapeutic potential," *Cancer letters*, vol. 498, pp. 229-239, 2021.
- [13] Y. Xu, M. Gong, Y. Wang, Y. Yang, S. Liu, and Q. Zeng, "Global trends and forecasts of breast cancer incidence and deaths," *Scientific data*, vol. 10, p. 334, 2023.
- [14] E. I. Obeagu and G. U. Obeagu, "Breast cancer: A review of risk factors and diagnosis," *Medicine*, vol. 103, p. e36905, 2024.
- [15] S. Saboori, E. Y. Rad, M. Birjandi, S. Mohiti, and E. Falahi, "Serum insulin level, HOMA-IR and prostate cancer risk: A systematic review and meta-analysis," *Diabetes & metabolic syndrome: Clinical research & reviews*, vol. 13, pp. 110-115, 2019.

THE PROSTATE CANCER CLASSIFICATION AND IDENTIFICATION OF POTENTIAL BIOMARKERS WITH MACHINE LEARNING METHODS BASED ON CLINICAL DATA

Dr. Şeyma YAŞAR

Inonu University

seyma.yasar@inonu.edu.tr - 0000-0003-1300-3393,

Prof. Dr. Cemil ÇOLAK

Inonu University

cemil.colak@inonu.edu.tr - 0000-0001-5406-098X

ABSTRACT

Prostate cancer is one of the most common types of cancer in men worldwide and usually occurs in older ages. Traditional methods commonly used in diagnosis (prostate specific antigen (PSA) test, digital rectal examination) have low sensitivity and specificity rates. Therefore, more reliable and sensitive methods are needed for early diagnosis. This study aims to develop classification models and identify potential biomarkers using machine learning methods in prostate cancer diagnosis. The clinical data of 298 individuals were used in the study. 131 of these individuals were diagnosed with prostate cancer, while the remaining 167 were classified as healthy. XGBoost and J48 algorithms were applied on the data. The XGBoost model was determined as the most successful model, achieving high performance results such as 92.6% accuracy, 95.4% sensitivity and 90.3% specificity. J48 exhibited lower accuracy (80.5%) and sensitivity (61.6%). As a result of the modeling, it has been revealed that five variables, namely total PSA (tPSA), PSA density (PSAD), prostate volume (PV), age and free PSA (fPSA), can be used as potential biomarkers in the prediction of prostate cancer. These biomarkers can contribute especially to the development of early diagnosis and personalized treatment strategies. Machine learning-based approaches offer promising methods in the management of multifactorial and complex diseases such as prostate cancer.

Keywords : Prostate cancer, Machine learning, XGBoost, J48, Classification.

1. INTRODUCTION

Prostate cancer is one of the most common malignancies in men worldwide and is also among the top cancer-related deaths. This disease, the incidence of which increases with age, becomes manageable with early diagnosis and effective treatment approaches. While early diagnosis significantly increases the quality of life and survival rates of patients, the limitations of the methods used in diagnosis cause various difficulties in the diagnostic process. The main methods used in the diagnosis of prostate cancer today include the prostate-specific antigen (PSA) test and digital rectal examination (DRE). However, these traditional approaches have low specificity and sensitivity rates and can lead to false-negative results as well as false-positive results. This situation brings with it negative consequences such as unnecessary biopsy procedures, stress on the patient and delayed treatment. In this context, the need for more sensitive, reliable and individualized diagnostic methods is increasing day by day [1, 2].

In recent years, advances in artificial intelligence and machine learning technologies have offered new opportunities in the diagnosis and management of complex and multifactorial diseases such as prostate cancer. Machine learning algorithms provide powerful tools to extract meaningful features from large and complex data sets, reveal complex relationships, and make data-driven predictions. Especially in areas such as the classification and analysis of medical data, these methods go beyond traditional approaches, both increasing diagnostic accuracy and defining individual risk factors more clearly [3, 4].

A large number of factors such as age, genetic predisposition, family history, ethnicity, and lifestyle play a role in the development of prostate cancer. The complex interactions of these factors produce multidimensional data that can be difficult to analyze with classical statistical methods. Machine learning techniques offer a new paradigm in processing and interpreting this multidimensional data, allowing individuals at high risk of disease to be identified early. In particular, the integration of genomic data, clinical findings, and biochemical test results enables a more sensitive and personalized risk assessment [5].

In this study, it was aimed to develop a classification model for prostate cancer diagnosis using different machine learning methods (XGBoost, J48) based on clinical data and to identify possible biomarkers through this model. The study aims to improve diagnostic processes by comparing model performance using two different machine learning methods and to contribute to the development of predictive models that will support early intervention.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Data Set

The dataset used in the study consists of clinical data on a total of 298 individuals, 131 of whom were diagnosed with prostate cancer and the remaining 167 did not have prostate cancer. The average age of the group diagnosed with prostate cancer among the subjects included in the study was 73 ± 10 , while the average age of the group without prostate cancer was 70 ± 9 . In the modeling, age, body mass index, Red blood cells (RBC), hemoglobin (HGB), white blood count (WBC), platelet (PLT), polymorphonuclear neutrophils (PMN), lymphatic fluid (LYMPH),

monocytes (MONOC), total prostate-specific antigen (tPSA), free prostate-specific antigen (fPSA), polycythemia vera (PV), prostate-specific antigen density (PSAD), glucose (GLU), creatinine (CRE), alanine transaminase (ALT), aspartate aminotransferase (AST), and AST to ALT ratio (AST/ALT) variables were considered as input variables, and prostate cancer diagnosis (positive/negative) was considered as output variable [6].

2.2. Data Preprocessing

In machine learning modeling, variable selection is an important step to both increase the performance of the model and strengthen its interpretability. In high-dimensional data sets, unnecessary or meaningless variables can lead to overfitting of the model, low prediction performance and high computational costs. In this context, LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator), which is used as the variable selection method in the current study, is an effective method that performs both variable selection and regularization. LASSO reduces the effect of unnecessary variables to zero by penalizing the regression coefficients and removes these variables from the model. This method, which is especially preferred in high-dimensional and multivariate data sets, enables the model to work simpler, more effectively and faster [7]. In addition, 10-fold cross-validation was used as a resampling method to evaluate the generalization ability of the model in the modeling process. In this method, the data set is divided into 10 equal subgroups and each is used as the test set and the remaining as the training set. This process allows the performance of the model to be evaluated in different data sections and a general performance metric is obtained by averaging the results. 10-fold cross-validation prevents the model from over-learning, allows it to make more reliable predictions, and provides an effective evaluation process even on small datasets [8].

2.3. Machine learning methods used in classification

2.3.1. XGBoost

XGBoost is a tree-based machine learning algorithm called eXtreme Gradient Boosting. It was developed to learn complex relationships and prevent overfitting, especially on large data sets. XGBoost is a stacking (boosting) method that can make more powerful predictions by combining small and independent trees. The model controls the tree depths and numbers using regularization terms and efficiency-enhancing techniques, thus producing more accurate predictions with less complexity. These features make XGBoost suitable for many applications such as data mining, classification, and regression. Especially its ability to work quickly on large data sets, having lightweight data structures, and providing parallel processing support make it a popular choice in modern machine learning applications [9].

2.3.2. J48 (C4.5)

J48 is a Java adaptation of the C4.5 algorithm and is a tree-based classification method. The C4.5 algorithm is based on the principle of classifying data through nodes and branches. This algorithm uses information such as entropy and information gain to divide the data into meaningful pieces and generate decision rules for each piece. J48 stands out with its memory efficiency and fast operation. Its branched tree structure allows it to model class balance and

relationships in datasets more accurately. This makes it ideal for solving complex classification problems [10].

3. RESULTS

Descriptive statistics for the 12 variables included in the model after lasso variable selection are given in Table 1.

Table 1. The descriptive statistics for variables included in the model

	Prostate Cancer				p-value
	Control		Prostate Cancer		
	Mean±SD	Median(Min-Max)	Mean±SD	Median(Min-Max)	
tPSA	15.86±24.09	9.65(0.23-233.29)	66.53±168.49	23.29(0.76-1884)	<0.001
PSAD	0.29±0.49	0.17(0.01-3.9)	1.56±4.6	0.58(0.01-51.67)	<0.001
PV	65.31±35.66	58.51(10.87-313.47)	53.84±31.22	44.55(13.78-224.03)	<0.001
Age	70.26±8.5	70(42-89)	72.74±9.58	73(42-93)	0.028
fPSA	2.4±2.86	1.63(0.07-20.2)	7.36±15.95	3.01(0.13-173.8)	<0.001
BMI	24.37±3.44	24.22(15.79-39.88)	24.46±3.25	24.22(15.24-35.11)	0.692
GLU	5.34±1.39	4.9(3.8-14.4)	5.44±1.5	5.1(2.5-12.6)	0.412
ALT	18.84±11.31	15(3-90)	17.37±10.61	14(4-69)	0.086
WBC	6.22±2.28	5.75(2.6-15.09)	5.99±1.67	5.72(2.68-12.72)	0.996
RBC	4.47±0.5	4.52(2.95-5.98)	4.31±0.56	4.41(2.81-5.43)	0.016
AST	19.02±6.25	18(9-49)	19.17±12.12	18(9-143)	0.391
PMN	4.08±2.1	3.54(1.42-13.49)	4.48±6.39	3.69(1.69-75.6)	0.568

Performance metrics for two different machine learning methods used to classify prostate cancer are given in Table 2.

Table 2. Performance metrics for XGBoost and J48 methods used to classify prostate cancer

Metrics	Machine Learning Models	
	XGBoost (%)	J48 (%)
Accuracy	92.6	80.5
Sensitivity	95.4	61.6
Specificity	90.3	95.8
F1-Score	92.0	73.9
Matthews Correlation Coefficient (MCC)	85.4	62.4

Considering the performance metrics in Table 2, the model with the best accuracy value is XGBoost. Therefore, the importance of the variables based on the optimal model in predicting prostate cancer is given in Figure 1.

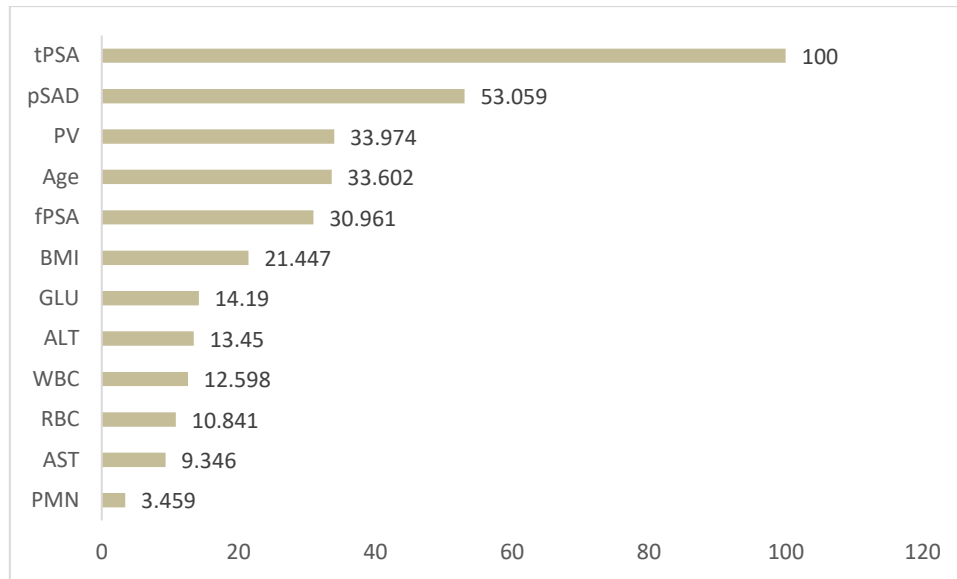


Figure 1. The importance of the variables based on the XGBoost optimal model in predicting prostate cancer

According to these values, 5 variables that can be used as possible biomarkers in predicting prostate cancer can be said to be tpsa, psad, pv, age and fpsa.

CONCLUSION

Prostate cancer, one of the most common cancers in men, usually occurs at an advanced age and is caused by a combination of genetic, hormonal and environmental factors. Treatment options for prostate cancer include surgery, radiotherapy, hormone therapy or active surveillance, depending on the stage of the disease and the patient's general health status. Since prostate cancer usually does not show symptoms in the early stages, new and reliable biomarkers allow for early diagnosis of the disease and increase the chance of treatment [11]. In the current study, classification was performed with two different machine learning methods to predict prostate cancer. When the performance metrics for this classification were examined, XGBoost had the best classification results with 92.6% accuracy, 95.4% sensitivity, 90.3% specificity, 92.0% F1-Score and 85.4% MCC values. Therefore, according to the variable importances depending on the optimal model, 5 possible risk factors for predicting prostate cancer were determined as tpsa, psad, pv, age and fpsa.

In prostate cancer, total PSA (tPSA), a protein produced in the prostate gland and measurable in the blood, is an important biomarker in the early diagnosis and monitoring of the disease. Measuring tPSA allows cancer to be detected at an early stage, increasing the chance of treatment. In addition, a decrease in tPSA levels after treatment can indicate the effectiveness of the treatment, while a rise in levels can indicate a recurrence of the disease. In addition, tPSA levels can be a guide in estimating the aggressiveness of the disease and in choosing the appropriate treatment strategy [12].

In prostate cancer, PSA density (PSAD) plays an important role in the diagnosis and management of the disease as a parameter obtained by dividing the prostate-specific antigen

(PSA) level by the prostate volume. PSAD provides more accurate results by evaluating how total PSA levels are affected by prostate size. This parameter helps distinguish prostate cancer from benign prostatic diseases (e.g., benign prostatic hyperplasia) and increases diagnostic sensitivity. Especially in patients with borderline PSA levels (between 4-10 ng/mL), high PSAD may be a determining factor in the decision to biopsy and helps prevent unnecessary biopsy procedures. In addition, high PSAD values may be associated with more aggressive prostate cancer, and this information can guide prognosis and treatment planning [13].

Prostate volume (PV) is a parameter that represents the size of the prostate gland and plays an important role in the diagnosis, monitoring and treatment processes of prostate cancer. PV is usually measured with imaging methods such as transrectal ultrasonography (TRUS) or magnetic resonance imaging (MRI) and is an important source of information in the evaluation of prostate diseases. The importance of PV in prostate cancer stands out as a determinant in the calculation of parameters such as PSA density (PSAD). Evaluating whether PSA levels are higher than normal according to prostate volume can help reduce unnecessary biopsy procedures. For example, a large prostate gland can cause a high PSA level, but this does not always indicate cancer. PV contributes to a more accurate diagnosis in such cases. In addition, PV is an important factor affecting treatment decisions. A large prostate volume is taken into account in the planning of treatment methods such as surgery or radiotherapy. For example, surgical risks may increase in patients with a large prostate gland or the radiotherapy dose may need to be adjusted. In addition, the association of PV with benign prostatic hyperplasia (BPH) may help clinicians in assessing the risk of prostate cancer. As a result, PV is considered an important parameter in the diagnosis of prostate cancer, determining its aggressiveness, and selecting the appropriate treatment strategy. When used together with other biomarkers, it allows for more accurate and effective management of prostate diseases [14].

Age has a significant impact on the incidence, course and treatment options of prostate cancer. Prostate cancer is generally considered a disease of advanced age and its risk increases with age. Although it is more common in men over the age of 50, the diagnosis rate increases significantly in men aged 65 and over. Age plays a critical role in the development of prostate cancer due to biological factors such as the accumulation of genetic changes and changes in hormonal balance. Age affects not only the incidence of the disease but also the treatment approach. In patients in the advanced age group, treatment options are usually evaluated by considering concomitant diseases and general health status. While active surveillance may be preferred in patients with advanced age but low-risk tumors, treatment methods such as surgery or radiotherapy may be applied to younger and healthier patients. In addition, age can affect the biological behavior of prostate cancer. Prostate cancers that occur at a young age generally tend to be more aggressive. This increases the importance of early diagnosis and effective treatment strategies. Therefore, age is a determining factor in the risk, diagnosis and management of prostate cancer. Therefore, assessing age-related risks and creating an individualized treatment plan is critical in combating prostate cancer [15].

Free PSA (fPSA) is a biomarker representing the free portion of prostate-specific antigen in the blood and plays an important role in the diagnosis of prostate cancer. Its evaluation together

with total PSA (tPSA) is important in terms of providing a differential diagnosis of prostate cancer. While low free PSA levels generally indicate a high risk of prostate cancer, high levels may be associated with a lower risk. This helps to make more accurate diagnosis and treatment decisions, especially at borderline tPSA levels (between 4-10 ng/mL). fPSA can reduce unnecessary biopsy procedures by increasing the diagnostic sensitivity of prostate cancer and allows patients to be directed correctly. It is also used in processes such as post-treatment monitoring and evaluation of response to treatment. High free PSA values can indicate the effectiveness of some treatment methods and provide important information for treatment guidance. Therefore, the evaluation of free PSA plays a critical role in the management of prostate cancer and helps to direct patients with more effective treatment strategies [16].

In conclusion, the combined evaluation of these five parameters (tPSA, PSAD, PV, age, fPSA) provides a more comprehensive and sensitive approach to the diagnosis and management of prostate cancer. The combined evaluation of these parameters minimizes false positive or negative results and enables the implementation of personalized treatment strategies for patients. This holistic approach allows for more accurate and effective clinical decisions in the management of prostate cancer.

REFERENCES

- [1] M. Sekhoacha, K. Riet, P. Motloung, L. Gumenku, A. Adegoke, and S. Mashele, "Prostate cancer review: genetics, diagnosis, treatment options, and alternative approaches," *Molecules*, vol. 27, p. 5730, 2022.
- [2] U. Swami, T. R. McFarland, R. Nussenzveig, and N. Agarwal, "Advanced prostate cancer: treatment advances and future directions," *Trends in cancer*, vol. 6, pp. 702-715, 2020.
- [3] O. S. Tătaru, M. D. Vartolomei, J. J. Rassweiler, O. Virgil, G. Lucarelli, F. Porpiglia, *et al.*, "Artificial intelligence and machine learning in prostate cancer patient management—current trends and future perspectives," *Diagnostics*, vol. 11, p. 354, 2021.
- [4] K. Kourou, K. P. Exarchos, C. Papaloukas, P. Sakaloglou, T. Exarchos, and D. I. Fotiadis, "Applied machine learning in cancer research: A systematic review for patient diagnosis, classification and prognosis," *Computational and Structural Biotechnology Journal*, vol. 19, pp. 5546-5555, 2021.
- [5] O. Bergengren, K. R. Pekala, K. Matsoukas, J. Fainberg, S. F. Mungovan, O. Bratt, *et al.*, "2022 update on prostate cancer epidemiology and risk factors—a systematic review," *European urology*, vol. 84, pp. 191-206, 2023.
- [6] H. Ye, "Prostate Cancer Data," M. Data, Ed., V1 ed, 2024.
- [7] V. Fonti and E. Belitser, "Feature selection using lasso," *VU Amsterdam research paper in business analytics*, vol. 30, pp. 1-25, 2017.
- [8] I. Tougui, A. Jilbab, and J. El Mhamdi, "Impact of the choice of cross-validation techniques on the results of machine learning-based diagnostic applications," *Healthcare informatics research*, vol. 27, pp. 189-199, 2021.
- [9] A. Ogunleye and Q.-G. Wang, "XGBoost model for chronic kidney disease diagnosis," *IEEE/ACM transactions on computational biology and bioinformatics*, vol. 17, pp. 2131-2140, 2019.
- [10] A. M. Posonia, S. Vigneshwari, and D. J. Rani, "Machine learning based diabetes prediction using decision tree J48," in *2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)*, 2020, pp. 498-502.
- [11] B. Kenner, S. T. Chari, D. Kelsen, D. S. Klimstra, S. J. Pandol, M. Rosenthal, *et al.*, "Artificial intelligence and early detection of pancreatic cancer: 2020 summative review," *Pancreas*, vol. 50, pp. 251-279, 2021.

- [12] T. Agarwal, H. P. Manivannan, V. P. Veeraraghavan, K. Sankaran, and A. P. Francis, "Selective plant alkaloids as potential inhibitors of PARP in pancreatic cancer-An in silico study," 2023.
- [13] C. Wang, L. Yuan, D. Shen, B. Zhang, B. Wu, P. Zhang, *et al.*, "Combination of PI-RADS score and PSAD can improve the diagnostic accuracy of prostate cancer and reduce unnecessary prostate biopsies," *Frontiers in Oncology*, vol. 12, p. 1024204, 2022.
- [14] H. D. Heerkens, W. Hall, X. Li, P. Knechtges, E. Dalah, E. Paulson, *et al.*, "Recommendations for MRI-based contouring of gross tumor volume and organs at risk for radiation therapy of pancreatic cancer," *Practical radiation oncology*, vol. 7, pp. 126-136, 2017.
- [15] C. Yuan, J. Kim, Q.-L. Wang, A. A. Lee, A. Babic, L. T. Amundadottir, *et al.*, "The age-dependent association of risk factors with pancreatic cancer," *Annals of Oncology*, vol. 33, pp. 693-701, 2022.
- [16] M. Caban and E. Małecka-Wojcieszko, "Gaps and Opportunities in the Diagnosis and Treatment of Pancreatic Cancer," *Cancers*, vol. 15, p. 5577, 2023.

KANSER ARAŞTIRMALARINDA SİTOTOKSİSİTE TESTLERİ

CYTOTOXICITY TESTS IN CANCER RESEARCH

Öğr. Gör. Dr. Aydın SEVER

Bingöl Üniversitesi,

asever@bingol.edu.tr- 0000-0002-6727-1556

ÖZET

Kanserin tüm dünyada milyonlarca insanı etkilemesi sebebiyle bu alanda yapılan çalışmalar yoğunluğunu korumaktadır. Kansere mekanizmasının anlaşılması için öncelikle ilgili tedavi yönteminin kanser hücrelerinde etkili olup olmadığının araştırılması yapılmalıdır. Bu bağlamda birçok deney gerçekleştirilmektedir. Yapılan deneylerde sitotoksosite testleri büyük önem arz etmektedir. Araştırmalarda kullanılan birçok test bulunmaktadır. Bu testlerin amacı kanser hücrelerine yönelik tedavi edici yaklaşımların etkinliğini tespit etmektir. İlaç adaylarını belirleme, tedavi dozlarının tespiti, mekanizmaların anlaşılması ve kişiye özel tedavi yaklaşımlarının ortaya çıkarılmasında bu testler rehber olabilmektedir. MTT, LDH, Trypan Blue Boyama, Flow sitometri, koloni oluşum deneyleri gibi çeşitli yöntemler günümüzde sıklıkla tercih edilmektedir. Bu yöntemlerin birbirine göre çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu çalışmada mevcut yöntemlerin tanıtımı, birbirlerine olan üstünlükleri ve tartışılması yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kansere, sitotoksosite, canlılık

1. GİRİŞ

Kanserin her yıl milyonlarca ölüme sebep olması ve sağlık harcamalarında önemli bir kalem oluşturması sebebiyle bu alanda yapılan çalışmalar her geçen gün artmaktadır (Sever, Toy, Erdoğan ve Gündoğdu, 2023). Bu çalışmalarda araştırmacıların kullandığı yöntemlerden birisi de hücre kültürü yöntemleridir. Organizmaya ait hücrelerin özel, steril ortamlarda gerekli koşulların sağlanarak çalışıldığı ortam olarak ifade edilen hücre kültürü bilimsel çalışmalara önemli katkılar sunmaktadır. Deney hayvanları ve insan çalışmalarına geçmeden önce gerek güvenlik ve hayvan hakları gerekse ekonomik sebepler ile hücre kültürü çalışmaları önemli bir başlangıç uygulamasıdır. Kanser çalışmalarında hücre kültürü uygulamalarının ayrı bir yeri ve kıymeti vardır (Tokur ve Aksoy, 2017). Yapılan uygulamaların sağlıklı ve kanser hücrelerinde nasıl bir etkiye sahip olduğunu anlamak ve tedavi dozlarının belirlenmesi açısından kanser araştırmalarında sitotoksitesite testleri çok önemlidir. Günümüzde sitotoksitesiteyi belirlemek açısından birçok yöntem ve deney vardır. Bunların birbirine göre çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Hangi tekniğin kullanılacağına araştırmacının kullandığı ajanın özelliği ve araştırma bütçesi önemli bir etkidir. Bazı yöntemlerde kullanılan kimyasallar deneyin sonucunu etkileyebilmektedir (Erkekoğlu ve Baydar, 2021). Bu çalışmada, günümüzde sıklıkla tercih edilen yöntemler başlıklar halinde incelenecektir.

Tripan Mavisi Yöntemi:

Uygulama sonrasında hücrelerde ortaya çıkan ölü/canlı hücrelerin hemositometre yardımıyla mikroskop altında sayılmasıdır. Tripan mavisi yöntemi sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemin genel mantığı; tripan boyasının canlı hücrelere girememesi ve ölü hücrelerin içine girmesidir. Kolay ve ucuz olması sebebiyle tercih edilmektedir. Ancak, sayımda ortaya çıkabilecek bazı sayısal hatalar, hücrenin parlak mı yoksa soluk mu olduğu konusunda şüphenin oluşabilmesi, az sayıda hücre ile çalışılmasına müsaade etmesi gibi gerekçeler dezavantaj olarak görülmektedir (Riss, Niles, Moravec, Karassina ve Vidugiriene, 2019).

Nötral Red Uptake Yöntemi:

Nötral kırmızısı deneyi, hücre kültürü ve doku çalışmalarında sıklıkla tercih edilen yöntemlerden birisidir. Ölü hücrelerin nötral boyayı içinde tutamaması sonucu canlı hücreler kırmızı renkte görünür. Diğer bir ismi lizozomal boyamadır. Genel olarak 96'lı plakalara ekilen 5-10bin hücrenin tutunduğundan emin olunduktan sonra gerekli tedaviler uygulanır. Tedavi süresi sonunda protokole uygun olarak basamaklar gerçekleştirilir. Çoklu okuyucuda spektrofotometrik olarak ölçüm gerçekleştirilir. Özellikle lizozomal hasarın tespitinde ön plana çıkmaktadır. Hızlı ve güvenilir bir yöntem olması avantajdır. Ancak, tedavilerde kullanılan bazı kimyasalların nötral kırmızısının kristal oluşturmaya sebep olabilmektedir (Erkekoğlu ve Baydar, 2021; Repetto, del Peso ve Zurita, 2008).

Kristal Viyole Yöntemi:

Adherent hücrelerde ölü hücrelerin uzaklaşması ve canlı hücrelerin kristal viyole boyası ile boyanması, bu yöntemin temelini oluşturmaktadır. Güvenilir bir sonuç elde edilmesi, uygulayıcının tecrübesi ile yakından ilişkilidir. Yoğun bir boya olması sebebiyle yıkamaların yeterli yapılmaması, çarpık sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. 96lı plakalara hücre ekimi yapılabileceği gibi 24 kuyucuklu plakalarda da sonuç alınabilmektedir (Larramendy ve Soloneski, 2018; Parker ve diğerleri, 2022).

MTT ve MTS Yöntemi:

Canlılık deneylerinde günümüzde en sık kullanılan yöntemlerden birisidir. Sadece hücre canlılığı değil, doku kültüründe de iyi sonuçlar vermektedir. 3-[4,5-dimetiltiyazol-2-il]-2,5-difenil-tetrazolyum bromür (MTT) sarı renkli bir tuzdur. Hücrelerin proliferasyonu ile ortaya çıkan dehidrojenaz aktivitesi bu tuzu sarı renkten mor menekşe rengine çevirir. Bu renk dönüşümünün ortaya çıkması için MTT solvent veya DMSO solüsyonlar kullanılmaktadır. Genel olarak 96 kuyucuklu platalere ekilen 5-10 bin hücre, uygulanan tedavinin ardından 3 saat MTT ile muamele edilir. İnkübasyonun ardından solvent eklenerek 15 dakika çalkalayıcıda ışık görmeyecek şekilde çalkalanır. Süre sonunda çoklu okuyucu ile 540 veya 570 nanometrede okuma gerçekleştirilir (Kumar, Nagarajan ve Uchil, 2018a). 5-(3-karboksimetoksifenil)-2-(4,5-dimetil-tiyazolil)-3(4-sülfofenil) (MTS) yöntemi, MTT'ye benzemektedir. İç tuz metodu olarak bilinmektedir. Pembe veya kırmızı renk oluşumu vardır. Ölçüm 492 nanometrede gerçekleştirilir (Erkekoğlu ve Baydar, 2021).

XTT ve WST Yöntemi:

Her iki bileşik MTT gibi tetrazolyum tuzlarıdır. Günümüzde çok fazla tercih edilmesinin sebebi, hızlı ve güvenilir sonuçlar vermesidir. MTT'den farklı olarak bir solvent içinde çözülmesine gerek yoktur. Bu sebeple daha güvenli sonuçlar ortaya koyar. Bunun yanında DMEM içinde bulunan fenol kırmızısı belirteçlerinden etkilenmez. Yüksek maliyetli olması dezavantaj olarak değerlendirilebilir (Sarı, Kolaylı ve Eyüpoğlu, 2021).

Sülforodamin B (SRB) Yöntemi:

İn vitro ortamda kemosenitivite testlerinde kullanılan ve MTT'ye nazaran daha iyi sonuçlar ortaya koyan SRB yöntemi, hücre protein içeriğinin ölçülmesine dayalı bir yöntemdir. Adherent hücrelerin 96 kuyucuklu plakalara ekilmesiyle tedavi uygulanır. Tedavi sonunda gerekli protokoller uygulanarak çoklu plaka okuyucuda 540/565/586 nanometre değerlerinde okuma sağlanır. Son yıllarda yoğun bir şekilde kullanılmasında ucuz ve kesin sonuçlar ortaya koyması etkili olmaktadır (Vajrabhaya ve Korsuwannawong, 2018).

LDH Yöntemi:

Hasar gören hücrelerin sitoplazmaya saldırdığı enzimlerin aktivitesi ölçmeye yarayan bir yöntemdir. Laktat dehidrogenaz (LDH), sitoplazmada stabil olarak bulunan bir enzimdir.

Otofaji, apoptoz, nekroz vb. sebeplerle hücrede hasar oluştuğunda hızlı bir şekilde hücre kültürü salgılanan LDH önemli bir belirteç olarak görülmektedir. 96 kuyucuklu plakalarda uygulanabilen bu yöntem 492 nanometrede en iyi sonucu vermektedir (Kumar, Nagarajan ve Uchil, 2018b).

Alamar Mavisi Testi:

Sitotoksinite testlerinde son 50 yıldır en fazla tercih edilen yöntemlerden birisi de alamar mavisi testidir. Resazurin denilen bir mavi indikatör kullanılır. Bu madde, hücreler tarafından resorufine dönüştürülür. Hücre zarından kolayca geçme kabiliyetine sahip olan resorufine hücre zarından geçerek indirgenir ve pembe renge dönüşür. Sadece kanser araştırmaları değil birçok organizmanın canlılık deneyinde sonuç alınabilmektedir. Hücre kültüründe 560/590 nanometrede iyi sonuçlar alınmaktadır. İnkübasyon süresi 1-4 saat arasındadır (Tokur ve Aksoy, 2017).

Bu tekniklerin dışında ATP yöntemi, Flow sitometri, Annexin V, kaspaz ailesi üyelerinin seviyesinin belirlenmesi gibi farklı yöntemler de bulunmaktadır.

2. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Kanser araştırmalarında hücre canlılığının belirlenmesi ilgili tedavi yönteminin etkinliğinin belirlenmesi ve sonraki deneylerde uygulanacak dozların tespitinde büyük önem taşımaktadır. Bunun tespitinde kullanılan birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Yöntemlerin hangisinin kullanılacağına araştırmacının tecrübesi, kullanılan kimyasal maddeler ve araştırma bütçesi etkili olmaktadır. Özellikle çoklu örneklerin analizine imkân veren spektrofotometrik ölçümler günümüzde büyük kolaylık sağlamaktadır. Gelişen teknoloji ile daha ucuz ve kesin sonuçlar veren yöntemlerin tespiti veya mevcut yöntemlerin optimizasyonu mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

- Erkekoğlu, P. ve Baydar, T. (2021). Güncel in vitro sitotoksosite testleri. *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy*, 41(1), 45–63.
- Kumar, P., Nagarajan, A. ve Uchil, P. D. (2018a). Analysis of cell viability by the MTT assay. *Cold spring harbor protocols*, 2018(6), pdb-prot095505.
- Kumar, P., Nagarajan, A. ve Uchil, P. D. (2018b). Analysis of cell viability by the lactate dehydrogenase assay. *Cold Spring Harbor Protocols*, 2018(6), pdb-prot095497.
- Larramendy, M. ve Soloneski, S. (2018). *Genotoxicity: A predictable risk to our actual world*. BoD–Books on Demand.
- Parker, C., Chambers, A. C., Flanagan, D. J., Ho, J. W. Y., Collard, T. J., Ngo, G., ... Williams, A. C. (2022). BCL-3 loss sensitises colorectal cancer cells to DNA damage by targeting homologous recombination. *DNA Repair*, 115, 103331. doi:10.1016/J.DNAREP.2022.103331
- Repetto, G., del Peso, A. ve Zurita, J. L. (2008). Neutral red uptake assay for the estimation of cell viability/ cytotoxicity. *Nature Protocols*, 3(7), 1125–1131. doi:10.1038/nprot.2008.75
- Riss, T., Niles, A., Moravec, R., Karassina, N. ve Vidugiriene, J. (2019). Cytotoxicity assays: in vitro methods to measure dead cells.
- Sarı, C., Kolaylı, S. ve Eyüpoğlu, F. C. (2021). A comparative study of MTT and WST-1 assays in cytotoxicity analysis. *Haydarpaşa Numune Medical Journal*, 61(3), 281.
- Sever, A., Toy, Y., Erdoğan, M. K. ve Gündoğdu, R. (2023). Kemoterapide Kullanılan Güncel Fitokimyasallar. *Muş Alparslan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 3(1), 64–76.
- Tokur, O. ve Aksoy, A. (2017). In vitro sitotoksosite testleri. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 6(1), 112–118.
- Vajrabhaya, L. ve Korsuwannawong, S. (2018). Cytotoxicity evaluation of a Thai herb using tetrazolium (MTT) and sulforhodamine B (SRB) assays. *Journal of analytical science and technology*, 9(1), 1–6.

CACO-2 HÜCRE HATTINDA CISPLATİN-AURORA B KOMBİNASYONUNUN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF CISPLATIN-AURORA B COMBINATION IN CACO-2 CELL LINE

Öğr. Gör. Dr. Aydın SEVER

Bingöl Üniversitesi,

asever@bingol.edu.tr- 0000-0002-6727-1556

ÖZET

Cisplatin birçok kanser türünde kullanılan önemli bir kemoterapik ajandır. Sahip olduğu güçlü sitotoksik özellik sebebiyle tüm dünyada çeşitli kanser türlerinin tedavisinde tercih edilmektedir. Cisplatinin daha düşük dozlarda etkinlik göstermesine yönelik stratejiler çok sayıda bilim insanı tarafından araştırılmaktadır. Hücre döngüsünün kontrollü bir şekilde gerçekleşmesini sağlayan Aurora kinazlar, kromozomların yoğunlaşmasında, ayrılmasında, iğ ipliklerinin oluşumunda kritik rol oynamaktadır. Bu kinaz ailesinin bazı kanser türlerinde artan ekspresyonu, Aurora kinaz inhibitörlerinin kanser tedavisinde etkili olabileceği sonucunu ortaya koymuştur. Kolon kanseri, erkek ve kadınlarda en sık görülen ve prognozu kötü olması sebebiyle tüm dünyada geniş bir kitleyi etkileyen kanser türüdür. Gelişen tedavi yöntemlerine rağmen bu kanser türünde yeterli başarı sağlanamamıştır. Bu sebeple yeni tedavi yaklaşımları kaçınılmaz olmaktadır. Bir veya birden fazla tedavi ajanının birlikte kullanılması olarak bilinen sinerjizm düşük dozda yüksek sitotoksiteyi hedeflemektedir.

Bu çalışmada Caco-2 hücre hattında cisplatin ve aurora B inhibitörünün gösterdiği antikanser özellik MTT ve Wound healing deneyleri ile araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kanser, cisplatin, Aurora B

2. GİRİŞ

Kanser, mutasyon sonrasında hücrelerde ortaya çıkan kontrolsüz hücre bölünmesinin görüldüğü bir hastalık grubudur. 100'den fazla çeşidi olan kanserde; hücrelerin çoğalması, apoptozis gibi hayati olayların işleyişi bozulmuştur (Pecorino, 2012; Alberts vd., 2017). Günümüz verilerine bakıldığında her yıl 20 milyon bireye kanser tanısı konulmaktadır. 10 milyon kişi ise kanser sebebiyle ölmektedir (Chhikara ve Parang, 2023). Yüksek görülme ve ölüm oranları sebebiyle kanser tüm dünyada geniş kitleleri etkileyen ve ivedi ile çözüm bulunması gereken bir hastalıktır (Miller ve diğerleri, 2019). Kolon ve rektumda görülen kanserler kolorektal kanser (KRK) olarak isimlendirilmektedir. Erkek ve kadınlarda en fazla teşhis edilen 3. Kanser türü olan KRK sebebiyle 2020 yılında 2 milyon civarında insan yaşamını yitirmiştir. Tespit edilen vakaların ekseriyeti gelişmiş ülkelerde gerçekleşmektedir. Ülkenin gelişmişlik düzeyi ile KRK sebebiyle görülen ölüm sayıları arasında doğru orantı olduğu belirtilmektedir. (Thanikachalam ve Khan, 2019) (Hossain ve diğerleri, 2022).

Güncel kanser tedavi yöntemlerine bakıldığında cerrahi, ilaç tedavisi, ışın tedavisi, bağışıklık tedavisi, hormon tedavisi, gen tedavisi gibi yaklaşımlar bulunmaktadır (Ghosh, 2019). Birçok tedavi yaklaşımının varlığına rağmen kanser tedavisinde yeterli başarı elde edilememiştir. Daha düşük dozlarda daha yüksek verimlilik elde etmek amacıyla muhtelif tedavi seçeneklerinin veya kemoterapik ajanın kombine edilmesi son dönemde ilgi duyulan yaklaşımlardan birisidir. Bu şekilde ilgili kemoterapik ajanların yüksek doz toksisitesinden hastaların korunması amaçlanmaktadır. Monoterapi yerine kombine tedavinin tercih edilmesinde birçok fayda bulunabilmektedir;

- Daha düşük dozda tedavi sağlamak
- İlaçtan sağlanan yararlanımın artırmak
- Oluşan/muhtemel direncin aşmak
- Direnç gelişen hücre hatlarında direncini kırmak
- Metastaz riskinin düşürmek
- Kanserinin tekrar görülme ihtimalini düşürmek
- Tedavinin etkinliğini yükseltmek (Abotaleb ve diğerleri, 2019).

Cisplatin tüm dünyada çeşitli kanser türlerinin tedavisinde sıklıkla tercih edilen bir kemoterapik ajandır. Çeşitli mekanizmalar üzerinden etkinliğini gösteren bu ajanın hastalarda oluşturduğu olumsuz tabloların azaltılması bilim insanlarınca aşılması gereken önemli bir sorun olduğu bilinmektedir (Ghosh, 2019).

Aurora kinaz B, AURKB geni tarafından kodlanmaktadır. Hücre bölünmesinin birçok sürecinde aktif rol oynayan bir proteindir (Bolanos-Garcia, 2005; Vas ve Clarke, 2008). BI 831266 molekülü bir Aurora B inhibitörüdür. Kanser hücrelerinden artan aktivitenin azaltılması amacıyla üretilen bu molekül, çeşitli kanser türlerinin tedavisinde umut olabileme potansiyeli taşımaktadır. Bu çalışmada kolon kanseri hücre hattı olan caco-2'de cisplatin ve Aurora B inhibitörünün gösterdiği sinerjistik etki araştırılmıştır.

2. UYGULAMALAR

2.1. Hücre Canlılık Deneyi

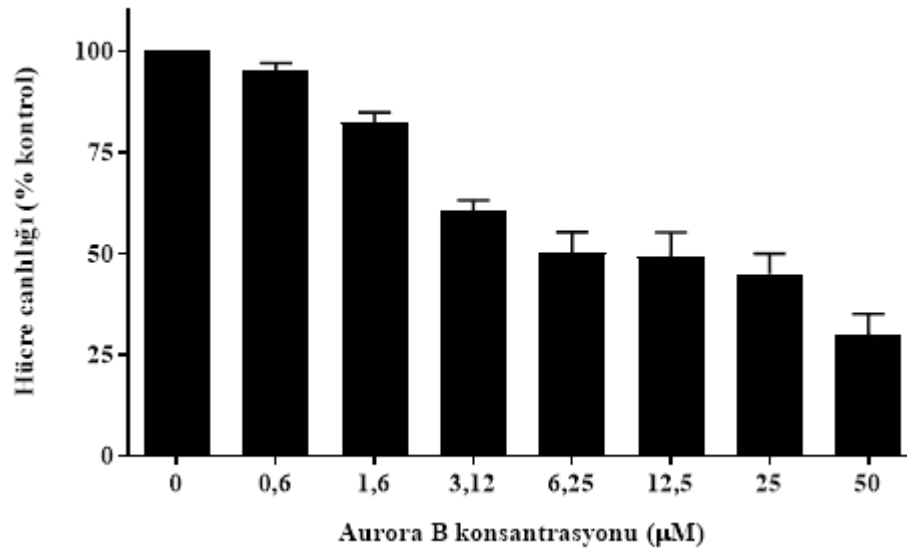
Hücre canlılığını belirlemek amacıyla 96 kuyucuklu plakanın her bir bölümüne 10 bin hücre ekimi gerçekleştirildi. Hücrelerin tutulduğundan emin olunduktan sonra, artan dozlarda cisplatin ve Aurora B inhibitörü ile 24 saat tedavi edildi. Süre sonundan DMEM aspire edildi (Kumar, Nagarajan ve Uchil, 2018).

2.2. Hücre Migrasyon Deneyi

Yara iyileşme deneyi hücrelerin migrasyon yeteneğini ölçmek amacıyla yapılan in vitro bir deneydir. 6 kuyucuklu plakalara ertesi gün tüm yüzeyi kapsayacak miktarda hücre ekimi gerçekleştirildi. Hücrelerin tutulduğundan emin olunduktan sonra 1 mL pipet ucu ile lineer yara alanı oluşturuldu. Ölü hücrelerin uzaklaştırılması için 2 defa PBS ile kuyucuklar yıkandı. Hücreler cisplatin ve Aurora B inhibitörü ile tedavi edildi. Monoterapi için IC50 değerleri, kombine tedaviler için IC25+IC25 dozları kullanıldı. 0.-12.-24. Saatlerde mikroskop altında yara alanının çekimleri fotoğraf çekimleri yapıldı (Zomer ve diğerleri, 2019).

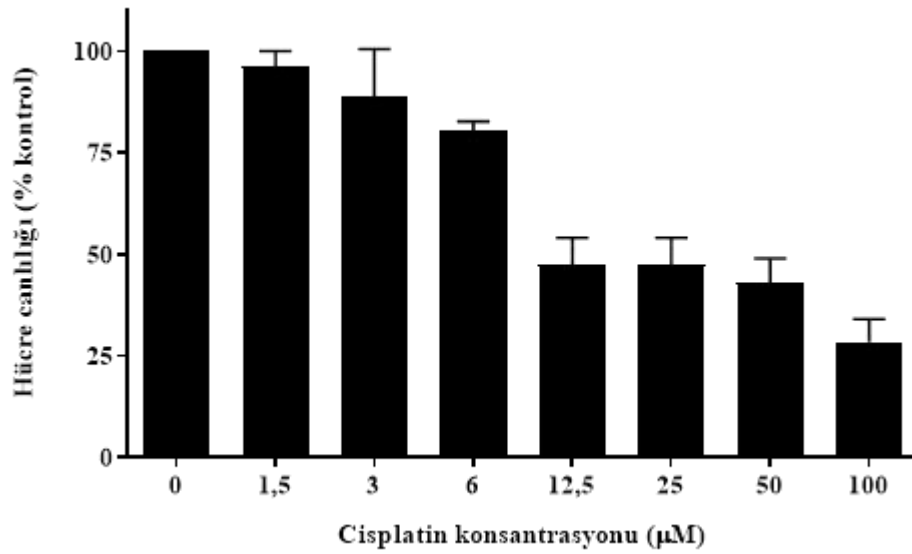
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Hücre Canlılık Deneyi



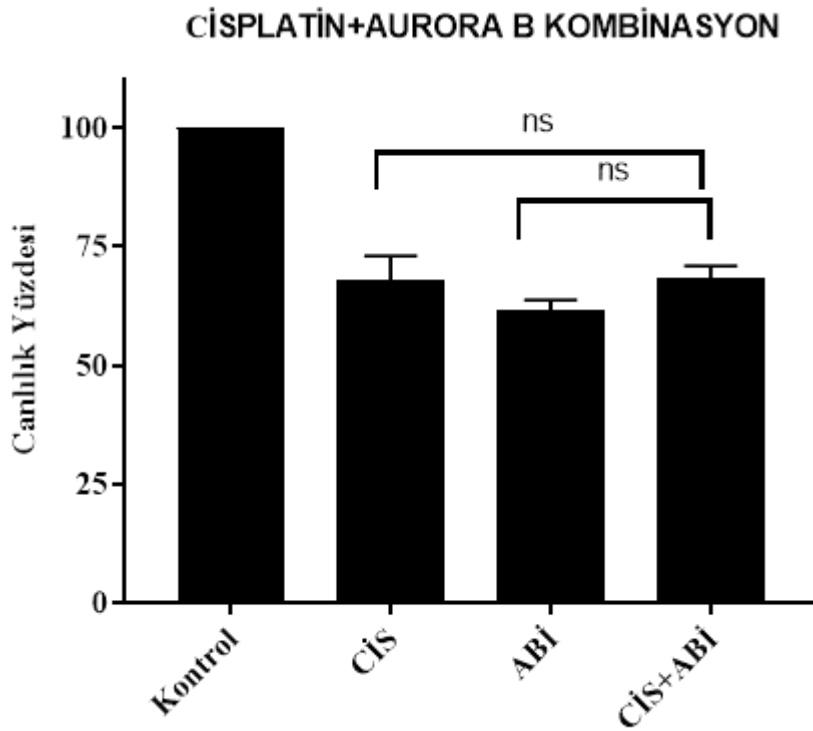
Şekil 6 Aurora B inhibitörü sitotoksosite grafiği

96 kuyucuklu plakaya ekilen caco-2 hücrelerinin artan konsantrasyonlarda Aurora B inhibitörü ile tedavilmesinin ardında IC50 değeri 47,8 µM olarak bulunmuştur.



Şekil 7 Cisplatin sitotoksosite grafiği

96 kuyucuklu plakaya ekilen caco-2 hücrelerinin artan konsantrasyonlarda Aurora B inhibitörü ile tedavi edilmesinin ardında IC50 değeri 15,8 µM olarak bulunmuştur.

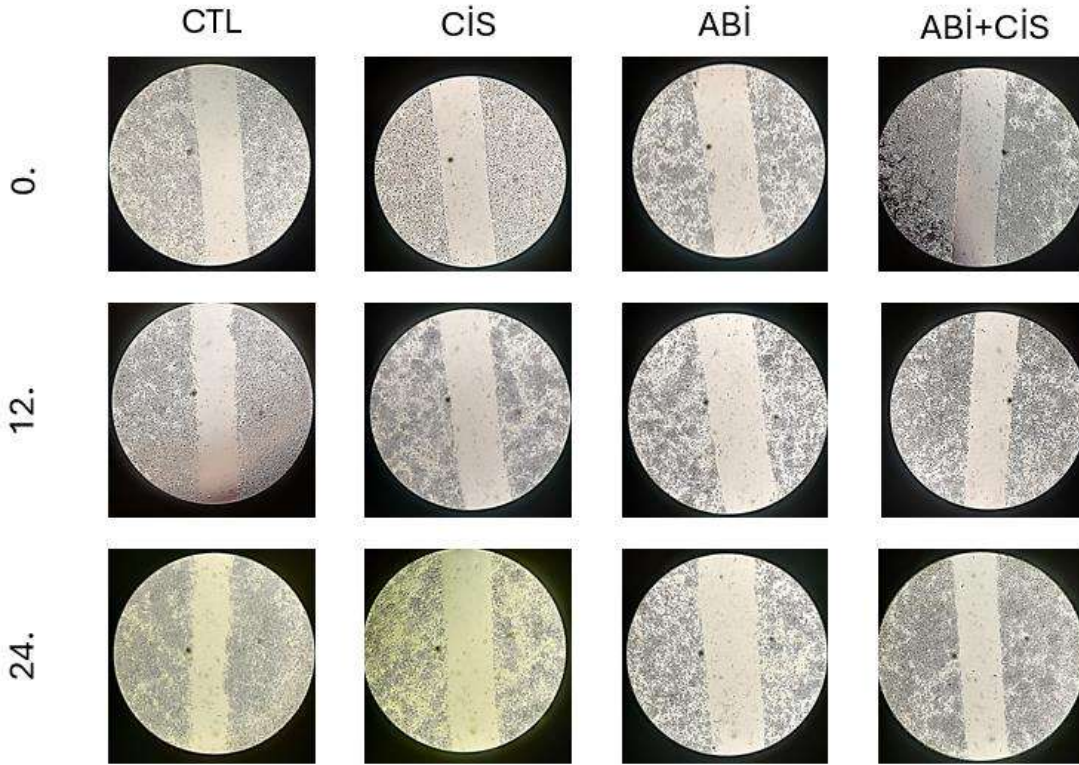


Şekil 8 Cisplatin ve Aurora B inhibitörü kombinasyon tedavisi canlılık grafiği (CİS: Cisplatin, ABİ: Aurora B inhibitörü, ns: Anlamli fark yok)

Tespit edilen IC50 ve IC25 değerleri kullanılarak kombinasyon tedavisi gerçekleştirildi. 24 saatlik tedavi sonunda monoterapiye göre kombinasyon tedavisinin canlılık yönüyle bir fark oluşturmadığı tespit edildi.

3.2. Wound Healing Deneyi

Hücrelerin uygulanan tedavi karşısında göstermiş olduğu migrasyon yeteneğinin tespiti amacıyla yara iyileşme deneyi yapıldı. Monoterapi ve kombine tedavi sonrasında ortaya çıkan yara açıklığı alanları Şekil 4'te gösterilmiştir. Mono tedavilerde migrasyon yeteneği belirgin bir şekilde azalırken, kombine tedavide bir sinerjizm ortaya çıkmamıştır.



Şekil 9 Wound healing deneyi (CİS: Cisplatin, ABİ: Aurora B inhibitörü, ns: Anlamli fark yok)

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Birden fazla kemoterapik ajanın birlikte kullanılması son dönemlerde birçok araştırmacı klinisyen tarafından ilgi duyulan bir yaklaşımdır. Daha düşük dozlarda daha yüksek etkinin amaçlandığı bu tedavi tekniğinde daima sinerjizm ortaya çıkmamaktadır. Yaptığımız çalışmada kombine tedavi sonrası anlamlı bir fark oluşmadığı görüldü. Bu durumun teyidi için ileri deneyleri yapılması daha kesin sonuçlar ortaya koyacaktır.

KAYNAKLAR

- Abotaleb, M., Samuel, S. M., Varghese, E., Varghese, S., Kubatka, P., Liskova, A. ve Büsselberg, D. (2019). Flavonoids in cancer and apoptosis. *Cancers*, *11*(1), 28. doi:10.3390/cancers11010028
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K. ve Walter, P. (2017). *Molecular Biology of the Cell*. (and P. W. B. Alberts, A. Johnson, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts, Ed.) *Molecular Biology of the Cell* (4th editio.). Garland Science. doi:10.1201/9781315735368
- Bolanos-Garcia, V. M. (2005). Aurora kinases. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, *37*(8), 1572–1577. doi:10.1016/j.biocel.2005.02.021
- Chhikara, B. S. ve Parang, K. (2023). Global Cancer Statistics 2022: the trends projection analysis. *Chemical Biology Letters*, *10*(1), 451.
- Ghosh, S. (2019). Cisplatin: The first metal based anticancer drug. *Bioorganic Chemistry*, *88*, 102925. doi:10.1016/j.bioorg.2019.102925
- Hossain, M. S., Karuniawati, H., Jairoun, A. A., Urbi, Z., Ooi, D. J., John, A., ... Hadi, M. A. (2022). Colorectal Cancer: A Review of Carcinogenesis, Global Epidemiology, Current Challenges, Risk Factors, Preventive and Treatment Strategies. *Cancers*, *14*(7), 1732. doi:10.3390/cancers14071732
- Kumar, P., Nagarajan, A. ve Uchil, P. D. (2018). Analysis of cell viability by the MTT assay. *Cold spring harbor protocols*, *2018*(6), pdb-prot095505.
- Miller, K. D., Nogueira, L., Mariotto, A. B., Rowland, J. H., Yabroff, K. R., Alfano, C. M., ... Siegel, R. L. (2019). Cancer treatment and survivorship statistics, 2019. *CA: a cancer journal for clinicians*, *69*(5), 363–385.
- Pecorino, L. (2012). *Molecular Biology of Cancer: Mechanisms, Targets, and Therapeutics*. http://books.google.com/books?id=tI_vcU85QU4C&pgis=1 adresinden erişildi.
- Thanikachalam, K. ve Khan, G. (2019). Colorectal cancer and nutrition. *Nutrients*, *11*(1), 164.
- Vas, A. C. J. ve Clarke, D. J. (2008). Aurora B kinases restrict chromosome decondensation to telophase of mitosis. *Cell Cycle*, *7*(3), 293–296. doi:10.4161/cc.7.3.5381
- Zomer, H. D., Varela, G. K. dos S., Delben, P. B., Heck, D., Jeremias, T. da S. ve Trentin, A. G. (2019). In vitro comparative study of human mesenchymal stromal cells from dermis and adipose tissue for application in skin wound healing. *Journal of tissue engineering and regenerative medicine*, *13*(5), 729–741. doi:10.1002/TERM.2820

SIRADIŐI KARACİĞER KİST HİDATİK KOMPLİKASYONU: KİSTOTOKOLESİSTİK FİSTÜL

Doç. Dr. OKTAY AYDIN

Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi,

droktayaydin@gmail.com - ORCID ID: 0000-0001-5728-0128

Doç. Dr. FARUK PEHLİVANLI

Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi,

drfapeh@hotmail.com - ORCID ID: 0000-0002-2175-8756

Opr. Dr. İLKER KAPLAN

Ermemek Devlet Hastanesi,

lkpkpln@gmail.com - ORCID ID: 0000-0002-2216-4730

ÖZET

Kist hidatik (*ecchynococcus granulosus*); sıklıkla gelişmekte olan ülkelerde görülen parazitik bir hastalıktır. İnsanlarda, hidatik hastalığı vakaların yaklaşık %75'inde karaciğerde, %15'inde akciğerde ve %10'unda diğer anatomik yerlerde tutulum gösterir. Karaciğerde kist hidatik tutulumunun komplikasyonları; süperenfeksiyon, safra kesesi içerisine rüptür, periton ve plevra boşluğuna rüptür, kolanjit, obstrüktif ikter, peritonit veya intra abdominal apse olabilir. Karaciğer hidatik kistin safra kesesine ve safra yoluna eş zamanlı rüptüre olması çok nadir olarak gözlenir. Karaciğer kist hidatiğine fistülize safra kesesi tanısının konulması oldukça zordur. Radyoloji ve cerrahi bölümleri arasında işbirliği gerektirir. Sunduğumuz olguda 65 yaşında atipik bir semptomatolojiyle ortaya çıkan karaciğerin komplike kist hidatiğine fistülize safra kesesi vakasını sunduk ve ardından bu patolojiyle ilgili literatürü inceledik.

Anahtar Kelimeler: kist hidatik, safra kesesi, kolesisto-hidatik kist, fistül

GİRİŞ

Kist hidatik (*ecchynococcus granulosus*); sıklıkla gelişmekte olan ülkelerde görülen parazitik bir hastalıktır [1, 2]. *Ecchynococcus granulosus* bağırsak duvarını geçip lenf sistemine veya portal venöz sisteme ulaştığında, ilk savunma hattı olarak karaciğer görev yapar. Bu nedenle karaciğer en sık etkilenen organdır. İnsanlarda, hidatik hastalığı vakaların yaklaşık %75'inde karaciğerde, %15'inde akciğerde ve %10'unda diğer anatomik yerlerde tutulum gösterir [1]. Özellikle, karaciğerin sağ hepatik lobu vakaların %80'inde, sol hepatik lob ise %20'sinde etkilenir [3]. Karaciğerde kist hidatik tutulumunun komplikasyonları; süperenfeksiyon, safra kesesi içerisine rüptür, periton ve plevra boşluğuna rüptür, kolanjit, obstrüktif ikter, peritonit veya intra abdominal apse olabilir [2, 3]. Karaciğer hidatik kistin safra kesesine ve safra yoluna eş zamanlı rüptüre olması çok nadir olarak gözlenir [2]. Etyopatogenezi bilinmemekle birlikte, akut kolesistit ile kist hidatik fistülleri arasındaki ilişki hakkında birkaç teori vardır. Bunlar; akut kolesistitin neden olduğu bir iltihap veya kistin safra kesesine açılmasına yol açan bir hidatik kist tarafından oluşturulan safra kesesinin iltihabıdır [4, 5].

Karaciğer kist hidatığıne fistülize safra kesesi tanısının konulması oldukça zordur. Radyoloji ve cerrahi bölümleri arasında işbirliği gerektirir. Ultrasonografi (USG), bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans (MR) fistül hattını gösterebilir, ancak endoskopik retrograd kolanjiyopankreatografi (ERCP) fistülizasyonu ayrıntılı olarak tespit edebilir [3]. Nadir vakalarda tanı yalnızca laparotomi ile konulabilir. Bu makalenin amacı, atipik bir semptomatolojiyle ortaya çıkan karaciğerin komplike kist hidatığıne fistülize safra kesesi vakasını bildirmek ve ardından bu patolojiyle ilgili literatürü gözden geçirmektir.

OLGU SUNUMU

Altmışbeş yaşında kadın hasta bilinen diabetes mellitus ve hipertansiyon tanıları mevcut olup üç gündür devam eden karın ağrısı ve bulantı şikayetiyle acil servise başvurdu. Özgeçmişinde bir yıl kadar önce perikardiyosentez yapıldığı ve kist hidatik nedeniyle takipli olduğu öğrenildi. Fizik muayenede batında defans ve rebound tespit edilmedi. Bulantı ve kusma yoktu. Laboratuvar bulgularında beyaz küre: $28,25 \times 10^3$ u/L, Crp: 397 mg/L, Na: 124 mEq/L, AST:350 U/L, ALT: 236 U/L, ALP: 175 IU/L, GGT: 130 U/L, kreatin: 3.96 mg/dL tespit edilmiş olup diğer biyokimyasal ve hematolojik bulgulara anormallik yoktu. Hastanın tüm abdominal bilgisayarlı tomografisinde: karaciğer segment 5-6 ağırlıklı yaklaşık 112x87x95 mm boyutlarında apse ve karaciğer sağ lob inferiorunda ve safra kesesi çevresi yağ dokularda inflamasyon bulguları mevcuttu. (Görsel 1,2,3). Mevcut bulgularla akut karın, karaciğer apsesi ve perforate safra kesesi tanılarıyla hastaya laparotomi kararı alındı. Sağ subkostal kesi ile laparotomi sonrası eksplorasyonda karaciğer sağ lob segment 5-6'da yer alan hidatik kistin safra kesesi ile fistülize olduğu ve sonrasında apse formasyonu olduğu görüldü. Karaciğerde kist içerisindeki apse drene edildi ve hipertonic salin infüzyonu sonrası perikist kapitonaj işlemi yapılarak kist aspirasyonu sağlandı. Kolesistektomi operasyonu da yapılarak hem karaciğer kist hidatik lojuna hem de foramen Winslowa drenaj katateri yerleştirilip ameliyat sonlandırıldı. Hastanın takiplerinde karaciğer kist lojundan safıralı içerik drenajı olması üzerine MRCP (manyetik rezonans kolanjiyopankreatografi) görüntülemesi yapıldı (Görsel 4). Sonrasında

ERCP (endoskopik retrograd kolanjiyopankreatografi) ile sfinkterometri yapılarak drenaj sağlandı. Hasta postoperatif 15.günde şifa ile taburcu edildi.

3. TARTIŞMA

Kist hidatik (*Ecchynococcus granulosus*); insanlarda en yaygın olarak karaciğer tutulumu göstermektedir [5]. Genelde komplikasyonlar ortaya çıktığında keşfedilebilir. Karın ağrısı safra kesesi hidatik kistlerinin en yaygın semptomudur ve bazı vakalarda tek semptom olabilirken, bulantı, kusma, ateş ve sarılık gibi diğer semptomlar da mevcut olabilir. Diğer komplikasyonları; kistin hacmindeki artışa bağlı olarak çevreleyen yapılara (safra kanalları, duodenum) bası ve safra kanallarında kistin yırtılması ile beraber bakteriyel süperenfeksiyondur. Bu durumda, sağ hipokondriyal ağrı, kutanöz-mukozal sarılık ve ateşle birlikte kolanjit oluşabilir [6, 7].

Genel olarak, kist rüptürü karaciğer hidatik hastalığının en yaygın komplikasyonudur. Rüptür klinik semptomlarda sessiz kalsa da, kist sıvısının antijenik özellikleri yaşamı tehdit eden anafilaktik reaksiyona neden olabilir [8]. Karaciğerin hidatik kistinin fistülü %55 oranında sağ safra kanalına, %25 oranında sol safra kanalına ve nadiren safra kesesine olur [1, 4]. Bu fenomene yol açan mekanizma üç faktöre dayanmaktadır; perikiste küçük safra kanalı radiküllerinin varlığı, hidatik kist duvarının durumu ve ekinokok kisti içeriğinin basınç seviyesidir [8]. Safra kesesi içi rüptürün inflamasyonla birlikte artan intrakistik basıncın nekroza neden olması sonucu fistülizasyonu oluşturduğu düşünülmektedir [4]. Hidatik kistin safra kesesine rüptürü obstrüktif tipte sarılık oluşturabilir veya kolanjit olarak ortaya çıkabilir. Akut kolanjit, rüptüre olmuş hidatik kist içeriğinin safra yollarına kaçması sonucu oluşan en yaygın sendromdur [5]. Bu komplikasyondan muzdarip hastalar genellikle sağ üst kadranda karın rahatsızlığı veya ağrısı, obstrüktif sarılık, ateş, akut kolanjit atakları, nadiren akut pankreatit, karaciğer apsesi veya septisemi ile başvururlar. Biyokimyasal çalışmalara göre, alkalin fosfataz (ALP), γ -glutamiltransferaz (γ GT), toplam ve direkt bilirubin büyük olasılıkla yükselecektir [8-10]. Hastamızda literatürle uyumlu olarak karaciğer enzimleriyle birlikte alkalin fosfataz (ALP), γ -glutamiltransferaz (γ GT) değerlerindedeki yükseklik mevcuttu.

Görüntüleme yöntemleri olarak özellikle ultrasonografi ve BT taramaları tanı ve sınıflandırma için önemlidir. Özellikle atipik yerlerde MRI da kullanılabilir [1]. Endoskopik retrograd kolanjiyopankreatografi ve perkütan transhepatik kolanjiyografi, fistül hattını daha ayrıntılı olarak gösterebilir [3]. ERCP hem tanısal hem de terapötiktir ve karaciğer hidatik kistinin intrabilyer rüptürü tedavisinde altın standart olarak kabul edilir [9]. Olgumuzda tanıda BT kullanılmış olup oluşan safra fistülü ERCP ile tedavi edildi.

Fistüllerin yönetimi; kist sayısı, kist tipi, kistin lokalizasyonu, fistülün boyutu, dahil olan safra dalı, hastanın klinik durumu, karaciğer fonksiyonu ve son olarak cerrahın deneyimi gibi birçok faktöre bağlıdır [8]. Karaciğer hidatik kistleri için cerrahi seçenekler konservatif (parankimi koruyan) ve radikal (karaciğer rezeksiyonu) prosedürler olarak ikiye ayrılır. Konservatif prosedürler kistin boşaltılması ve endokistin çıkarılmasıyla kistin duvarının açılmasını içerir. Bu prosedür basittir, hızlıdır ve düşük kanama ve mortalite riski vardır [7]. Radikal prosedürler segmentektomi gibi karaciğer anatomik rezeksiyonlarını veya kistoperisistektomi gibi anatomik olmayan rezeksiyonlardır. Total perikistektomi ve nadiren

düzenlenen hepatektomi, geride kalan bir boşluk bırakma şansını ve safra fistülünün tedavisinin neden olduğu zorlukları en aza indirme avantajına sahiptir. Ancak, yine de önemli bir kanama riski olan teknik olarak zor bir prosedür olmaya devam etmektedir [7]. Safra kesesi ve safra kanallarında rüptür olması durumunda, tedavi stratejisi tıbbi yollarla sepsisin acil kontrolünü takiben gecikmeli acil kolesistektomi ve safra kanallarının cerrahi drenajı ve kistin perikistektomi veya antihelmintik tedavinin uygulanmasıyla karaciğer rezeksiyonu ile çıkarılmasından oluşur [2, 6, 11]. Olgumuzda cerrahi tedavide konservatif (parankimi koruyan) yöntem tercih edildi.

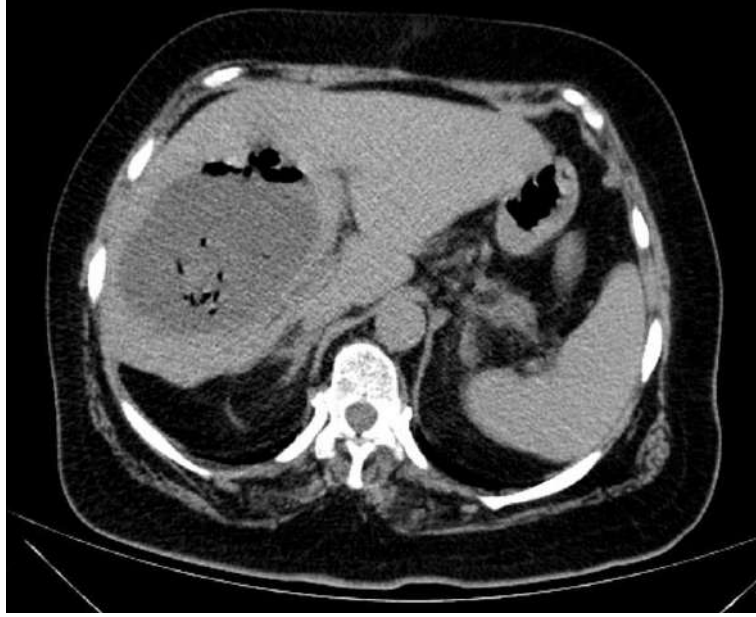
4. SONUÇ

Karaciğer hidatik kistleri, sıklıkla atipik semptomatolojiye sahip ciddi komplikasyonların ortaya çıkmasıyla belirginleşebilir. Kalsifiye formlar çoğunlukla inaktiftir ve spesifik bir tedavi gerektirmez. Bununla birlikte safra kanallarına rüptür gibi komplikasyonlar görülebilir. Karaciğer hidatiğinin intrabilyer rüptürünün gecikmiş tanısı ve tedavisi başlıca sepsis ve karaciğer yetmezliği olmak üzere mortalite ile ilişkilidir. Bu tür vakalarda hızlı tanı ve tedavi esastır [9]. Kolesisto-hidatik fistüllü hastaların yönetimi radyoloji ve cerrahi bölümleri arasında yakın işbirliği gerektirir. Zamanında tanı ve yönetim başarılı tedavinin anahtarıdır [12].

KAYNAKÇA

1. Pedrosa I, Saiz A, Arrazola J, Ferreirós J, Pedrosa CS: **Hydatid Disease: Radiologic and Pathologic Features and Complications 1: (CME available in print version and on RSNA Link)**. *Radiographics* 2000, **20**(3):795-817.
2. Badar M, Imran Bashir M, Asad M, Muhammad Ashraf S, Saira S, Ahsan Altaf S: **Cholecysto-hydatid cyst fistula**. 2008.
3. Singh K: **Complications of hydatid cyst of liver and its management: a review**. *Asian Pac J Health Sci* 2021, **8**:114-118.
4. Sharma BC, Reddy RS, Garg V: **Endoscopic management of hepatic hydatid cyst with biliary communication**. *Digestive Endoscopy* 2012, **24**(4):267-270.
5. Zaouche A, Haouet K, Jouini M, El Hachaichi A, Dziri C: **Management of liver hydatid cysts with a large biliocystic fistula: multicenter retrospective study. Tunisian Surgical Association**. *World journal of surgery* 2001, **25**(1):28-39.
6. Sielaff TD, Taylor B, Langer B: **Recurrence of hydatid disease**. *World journal of surgery* 2001, **25**(1):83.
7. Ossibi PE, El Bouhadoutti H, Laalim SA, Oussaden A, Mazaz K, Taleb KA: **Rupture of liver hydatid cyst into gall bladder**. *Surgical Science* 2015, **6**(7):301-303.
8. Yiallourou AI, Nastos C, Theodoraki K, Papaconstantinou I, Theodosopoulos T, Vassiliou I, Arkadopoulos N, Smyrniotis V: **Surgical Management of major complications of hydatid cysts of the liver-a review of the literature**. *Ann Clin Cytol Pathol* 2017, **3**(1):1049.
9. Wani I, Bhat Y, Khan N, Mir F, Nanda S, Shah OJ: **Concomitant rupture of hydatid cyst of liver in hepatic duct and gallbladder: case report**. *Gastroenterology Research* 2010, **3**(4):175.
10. Yücesoy AN, Poçan S: **Secondary gallbladder hydatidosis and nonfragmented germinative membrane sourced obstructive jaundice caused by intrabiliary ruptured hepatic hydatid cyst (a case report): two rare complication of the intrabiliary ruptured hepatic hydatid cyst**. *Hepatobiliary Surgery and Nutrition* 2014, **3**(4):209.
11. Murtaza B, Malik IB, Mahmood A, Sharif MA, Saeed S, Satti AA: **Cholecysto-hydatid cyst fistula**. *J Coll Physicians Surg Pak* 2008, **18**:778-780.
12. Kırmacı MB, Akay T, Özgül E, Yılmaz S: **Cholecysto-Hydatid Cyst Fistula: A Rare Cause of Cholangitis**. *The American Journal of Case Reports* 2020, **21**:e921914-921911.

GÖRSELLER:



Görsel 1: Aksiyel kesit abdomen bilgisayarlı tomografide karaciğer sağ lobda kist hidatik ile uyumlu görünüm



Görsel 2: Koronal kesit abdomen bilgisayarlı tomografide karaciğer sağ lobda kist hidatik ile uyumlu görünüm



Görsel 3: Aksiyel kesit abdomen bilgisayarlı tomografide karaciğer kist hidatik ile safra kesesi arasındaki fistülizasyon



Görsel 4: Postoperatif MRCP görüntüsünde karaciğer kist hidatik ile safra kesesi arasındaki fistülizasyon

NADİR AKUT KARIN SEBEBİ: JEJUNAL VOLVULUS

Doç. Dr. FARUK PEHLİVANLI

Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi,

drfapeh@hotmail.com - ORCID ID: 0000-0002-2175-8756

Doç. Dr. OKTAY AYDIN

Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi,

droktayaydin@gmail.com - ORCID ID: 0000-0001-5728-0128

Opr. Dr. İLKER KAPLAN

Ermenek Devlet Hastanesi,

lkrkpln@gmail.com - ORCID ID: 0000-0002-2216-4730

ÖZET

İnce bağırsak volvulusu kliniklerde nadir görülen ve yaşamı tehdit eden cerrahi acil durumdur. Volvulusun yaklaşık %75'i kolonda ve %25'i ince bağırsakta meydana gelir. İnce bağırsak volvulusu, bağırsak kıvrımlarının kendi mezenterinin eksenine etrafında anormal bir şekilde bükülmesi ve mezenterik damarların bükülüp tıkanmasına neden olarak bağırsak tıkanıklığına, venöz kanlanmaya, kangrene ve perforasyona yol açar. İnce bağırsak volvulusu yenidoğanlarda ve genç yetişkinlerde daha sık görülürken yetişkinlerde çok nadir görülür. Bağırsak volvulusunda mortalite riskini iki katına çıkaran gangrenöz komplikasyonlar açısından erken cerrahi zorunludur. Yetmiş altı yaşında daha önceden apendektomi ameliyatı geçiren akut karın ile başvuran hastada ince bağırsak segmentlerinin mezosu etrafında torsiyone olduğu, bağırsak volvulusuna ve kangrene yol açmasıyla oluşan jejunal volvulus vakasını bildiriyoruz.

Anahtar Kelimeler: Jejenum, volvulus, ince barsak obstrüksiyonu

GİRİŞ

İnce bağırsak volvulusu, ince bağırsağın bir segmentinin ve mezenterinin torsiyonu ile karakterize, gastrointestinal obstrüksiyonun nadir ve yaşamı tehdit eden bir klinik durumdur. İlk defa 16. yüzyılda Riverius tarafından tanımlanmış olup daha geniş bir tanımlama ise 1836 yılında Rokitansky tarafından yapılmıştır [1, 2]. Herhangi bir predispozan faktör olmaksızın primer veya konjenital veya edinilmiş lezyonlara sekonder olarak sınıflandırılabilir. Batı Dünyası'nda vakaların %1-4'ünü oluştururken Asya, Afrika ve Orta Doğu'da vakaların %20-35'ine kadar çıkar [3]. İnce bağırsak volvulusunun preoperatif tanısı, spesifik klinik sunumun ve patognomonik radyografik ve laboratuvar bulgularının olmaması nedeniyle çok zordur [4]. İnfant ve çocuklarda daha sık görülmekle birlikte yetişkinlerde nadiren rastlanan ve acil cerrahi gerektiren intestinal obstrüksiyon yapan sebeplerden biridir. Biz de ileus ve akut karın bulgularıyla acil servise başvurmuş jejunal volvulus vakamızı sunarak literatüre katkıda bulunmak istedik.

OLGU SUNUMU

Acil servise ani başlayan karında şişlik, bulantı, kusma, çarpıntı ve çok belirgin olmayan karın ağrısı şikayetleri ile başvuran 76 yaşında kadın hastanın fizik muayenesinde minimal hassasiyet mevcuttu. Özgeçmişinde yedi yıldır Parkinson hastalığı ve 4 yıl önce yapılan apendektomi ameliyatı dışında özellik yoktu. Kan testlerinde WBC: 22.790/ml, CRP: 5.8 mg/l idi. Ayakta direkt batın grafide bağırsaklarda yaygın distansiyon ve seviyelenme vardı (Görsel 1). Batın BT'de batın içerisinde ileal anslarda 42 mm'ye ve jejunal anslarda 45 mm'ye varan, duodenum ve midede de gözlenen belirgin çap artışı ve hava sıvı seviyelenmeleri izlendi. Batın orta hatta SMA inferiorunda saat yönünde 270 derece rotasyon izlendi. Bulgular öncelikle midgut volvulus lehine değerlendirildi. (Görsel 2). Hasta akut karın ve intestinal obstrüksiyon bulgularıyla acil olarak laparotomiye alındı. Yapılan eksplorasyonda trietzdan itibaren 70 cm'den başlayan 170 cm'ye kadar kendi mezosu etrafında yapışıklığa bağlı rotasyona uğradığı ve jejunal volvulusa neden olduğu görüldü (Görsel 3). Bu bağırsak segmentinin dilate ve kanlanmasının bozulduğu görüldü. Gangrene olan bağırsak segmenti rezeke edilip yan-yana anastomoz yapıldı. Takiplerinde problem olmayan hasta postoperatif 6. günde sorunsuz olarak taburcu edildi.

TARTIŞMA

İnce bağırsak volvulusu tüm bağırsak tıkanıklıklarının %5'inden azını temsil eder. İnce bağırsak volvulusu ince bağırsak tıkanıklıklarının %25'ini oluşturur [1]. İnce bağırsak volvulusu nadir görülen ve yaşamı tehdit eden bir cerrahi acil durumdur [2]. Volvulusun yaklaşık %75'i kolonda ve %25'i ince bağırsakta meydana gelir [3]. İnce bağırsak volvulusu, bağırsak segmentinin kendi mezenterinin eksenine etrafında anormal bir şekilde bükülmesi ve mezenterik damarların bükülmesine ve tıkanmasına yol açarak bağırsak tıkanıklığına, venöz kanlanma bozukluğuna, gangrene ve perforasyona neden olmasındır [1, 2]. İnce bağırsak volvulusu yenidoğanlarda ve genç yetişkinlerde daha yaygındır ve yaşlılarda çok nadirdir [4]. Görülme sıklığı Orta Doğu, Asya ve Orta Afrika ülkelerinde yüksek (100.000 kişide 24-60) iken Batı ülkelerinde düşüktür (100.000 kişide 1,7-5,7) [5]. Bu bölgesel farklılıkların kesin nedeni bilinmemekle birlikte,

muhtemelen diyet faktörleriyle ilgilidir. Uzun süreli oruçtan sonra lif tüketimi (örneğin Ramazan ayında Müslümanlar) boş bağırsağın aniden aşırı yüklenmesine neden olur ve bu da bağırsak peristaltizmini tetikleyerek ince barsak volvulusuna yol açabilir [4].

İnce bağırsak volvulusu, nedene göre primer ve sekonder alt tipler olarak sınıflandırılabilir. Primer ince barsak volvulusu, altta yatan anatomik anormallikler veya yatkınlık faktörleri olmadan ortaya çıkar ve çoğunlukla çocuklarda ve genç yetişkinlerde görülür. Birçok mekanizması öne sürülmüştür; bunlar arasında güçlü ön karın kas tonusu, bağırsağın yüksek peristaltik tonusu, uzun süreli açlıktan sonra ince bağırsakta hacimli, yüksek lifli öğün, daha uzun mezenterik uzunluk ve ince bağırsak segmentinin anormal hareketliliğine izin veren kısa mezenterik kök bulunur [6]. Sekonder ince barsak volvulusu genellikle 40 ila 90 yaşları arasında görülür, batı ülkelerinde daha yaygındır ve ince barsak volvuluslarının %78 ila %90'ını oluşturur [7]. Sekonder ince barsak volvulusu postoperatif yapışıklıklar, fibröz bant, Meckel divertikülü, bağırsağın konjenital malrotasyonu, tümörler, mezenterik lenf düğümleri, parazitik enfestasyonlar, internal herniler, lipomlar, gebelik, endometriozis, hematomlar, anevrizmalar, tüberküloz, bağırsak duplikasyonu, ince bağırsak divertikülü, paraduodenal herni nedeniyle oluşur [6-9]. Bizim olgumuzda geçmiş yıllarda geçirilmiş apendektomi operasyonuna bağlı postoperatif yapışıklık mevcuttu.

Klinik olarak ince barsak volvulusunda mezenterik iskemi ve bağırsak nekroz olmadan müdahale etmek için erken tanı esastır. İnce barsak volvulusunda akut vasküler yetersizlik, peritonit veya gastrointestinal obstrüksiyonun derecesi ile ilişkili olmayan karın ağrısı ile gelebilir. Yani kliniği belirsiz semptom ve bulgularla ortaya çıkabilir [10]. Bizim vaka raporumuzda hasta, peritoneal bulgular olmadan gastrointestinal obstrüksiyon semptom ve bulguları gösterdi. Hastamızda karın ağrısı belirgin olmayıp distansiyon, bulantı ve kusma gibi bulgular mevcuttu. Bu da hastanın Parkinson hastası olması nedeniyle muayeneye oryante olamamasına bağlanabilir.

İnce barsak volvulusunun ameliyat öncesi tanı çalışmaları düz karın radyografisi, ultrasonografi (US), Renkli Doppler US ve karın BT'yi içerir [11]. Düz karın radyografisinin ince bağırsak volvulusunu teşhis etmede doğruluğu düşüktür, bağırsak tıkanıklığının (hava-sıvı seviyeleri, genişlemiş bağırsak kıvrımları), iskemi veya nekroz (başparmak izi, pnömatozis intestinalis, portal ven gazı) belirtilerini spesifik olmayan şekilde gösterebilir. Renkli dopler ultrason US bağırsağın mezenterinin etrafında bükülmesini gösterebilir [12]. Renkli Doppler US, ince bağırsak kıvrımlarının ve üst mezenterik venin üst mezenterik arter etrafında dönmesini gösterebilir ve buna "girdap işareti" denir ve sırasıyla %92, %100 ve %100 duyarlılık, özgüllük ve pozitif öngörü değeri vardır [13]. Yapılan çalışmalarda abdominal BT'nin, volvulusun neden olduğu obstrüksiyon seviyesinin ve nedeninin saptanması konusunda daha yüksek oranda duyarlılık, doğruluk ve özgüllüğe sahip olduğu görülmüştür [14]. Sunduğumuz olguda tomografi bize tıkanıklık seviyesi hakkında daha fazla bilgi vermiştir. Çoğu vakada klinik muayene ve laboratuvar testleri ameliyat öncesi tanı için yeterli olmamaktadır. Bu vakalar için literatür bilgilerine göre preoperatif tanısı çok zor konmakta hatta imkansızdır [1].

İnce bağırsak volvuluslarının tedavisi cerrahidir. Hastalara tanının erken konması ve tedavide laparoskopik yöntemler kullanılabilir [2]. Bazı durumlarda vakaya uygun olarak, detorsiyon ya

da anastomoz yapılabilir. Detorsiyon yapılan olgularda tekrar volvulus gelişme ihtimali olabilir. Gangren olsun veya olmasın rezeksiyon ve anastomoz yapılmasının daha uygun olduğu ileri sürülmekle birlikte yayınlarda bu farklı iki cerrahi uygulamaların hangisinin üstün olduğu ortaya konulamamıştır. Bu klinik çalışmaların çoğunun prospektif ve randomize olmaması sebebiyle ve uzun süreli sonuçları da mevcut değildir [5]. Bizim olgumuzda da barsak dolaşımı bozulduğu için gangrene kısım rezeke edilip yan-yana anastomoz yapılmıştır.

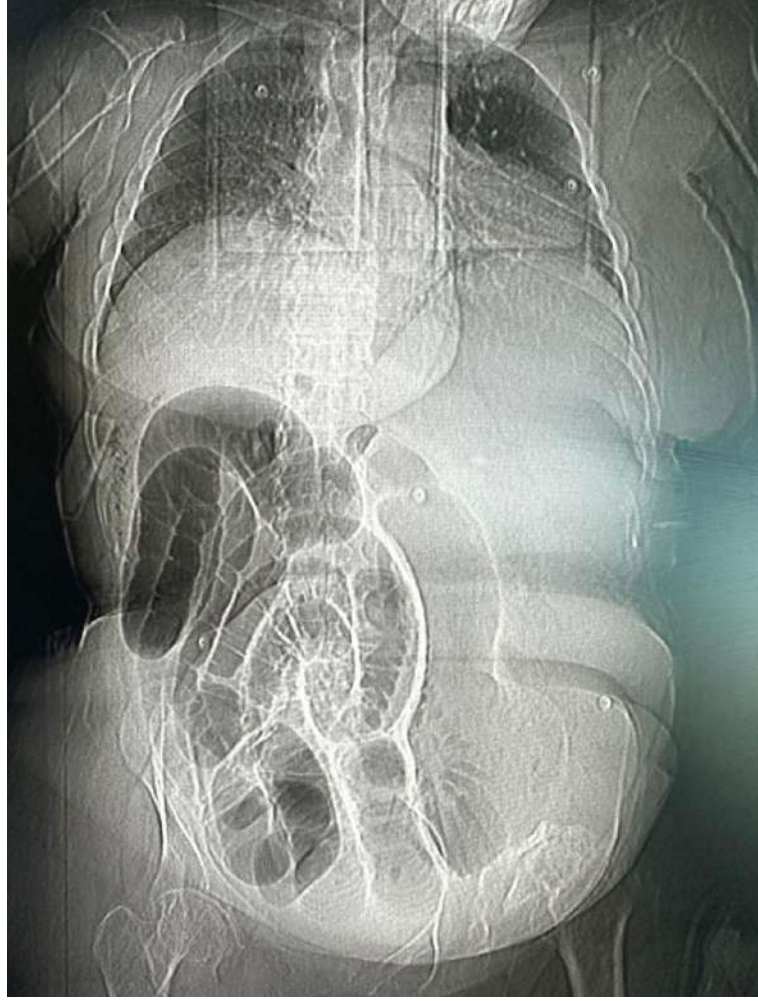
SONUÇ

Sonuç olarak, ince bağırsak volvulusu kliniklerde nadir görülen ve yaşamı tehdit eden cerrahi acil durumdur . Gangrenöz komplikasyonlar çıktığı zaman mortalite riski iki kat artması bakımından ince bağırsak volvuluslarında erken cerrahi zorunludur. Karın ağrısına neden olup akut karın ile başvuran hastalarda mutlaka aklımızda bulunması gereken acil bir durumdur. Cerrahi müdahale ne kadar erken yapılırsa tedavi açısından başarı şansı yüksektir.

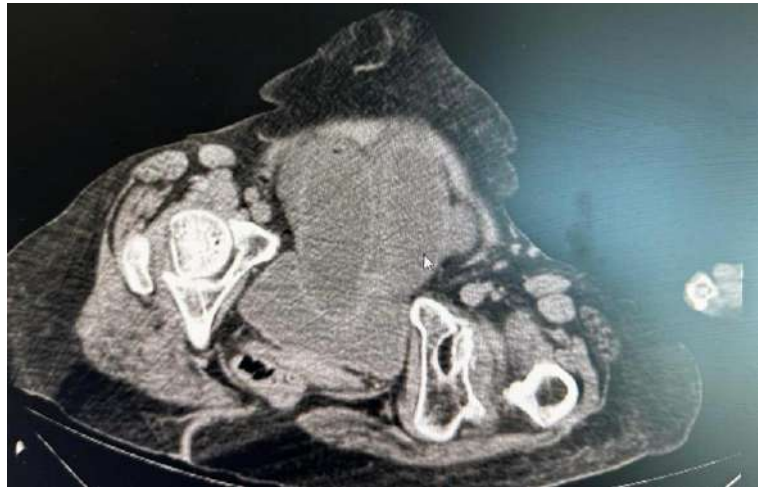
KAYNAKLAR

1. Andromanakos N, Filippou D, Pinis S, Kostakis A: **An unusual synchronous ileosigmoid and ileoileal knotting: a case report.** *Journal of Medical Case Reports* 2014, **8**:1-4.
2. Şimşek T, Güler SA, Çakır Ö, Utkan NZ, Cantürk NZ: **Nadir Akut Karın Sebebi İnce Bağırsak Volvulusu: Bir Olgu.** *Causapedia* 2018, **7**(3):174-178.
3. Lepage-Saucier M, Tang A, Billiard J-S, Murphy-Lavallée J, Lepanto L: **Small and large bowel volvulus: Clues to early recognition and complications.** *European journal of radiology* 2010, **74**(1):60-66.
4. Li X, Zhang J, Li B, Yi D, Zhang C, Sun N, Lv W, Jiao A: **Diagnosis, treatment and prognosis of small bowel volvulus in adults: A monocentric summary of a rare small intestinal obstruction.** *PloS one* 2017, **12**(4):e0175866.
5. Iwuagwu O, Deans G: **Small bowel volvulus: a review.** *Journal of the Royal College of Surgeons of Edinburgh* 1999, **44**(3).
6. Faizan S, Jain AKC, Thimmappa D: **Primary ileal volvulus: a rare cause of small intestinal obstruction.** *International Surgery Journal* 2020, **7**(4):1304-1306.
7. Gürleyik E, Gürleyik G: **Small bowel volvulus: a common cause of mechanical intestinal obstruction in our region.** *European Journal of Surgery* 1998, **164**(1):51-55.
8. Agrawal S, Yadav AR, Nepal B, Upadhyay PK: **Primary ileal volvulus: a rare twist in an elderly patient—case report.** *BMC surgery* 2020, **20**:1-4.
9. Evola G, Scragliari M, Di Fede GF, Di Stefano C, Sarvè S, Piazza L: **Jejunal volvulus within an inguinal hernia sac like as an extremely rare cause of acute mechanical gastrointestinal obstruction in adults: First literature report.** *International Journal of Surgery Case Reports* 2022, **91**:106757.
10. Bauman ZM, Evans CH: **Volvulus.** *Surgical Clinics* 2018, **98**(5):973-993.
11. Papadimitriou G, Marinis A, Papakonstantinou A: **Primary midgut volvulus in adults: report of two cases and review of the literature.** *Journal of Gastrointestinal Surgery* 2011, **15**:1889-1892.
12. Barakat B, Pezzilli R: **Volvulus of ileum: A rare case of small bowel obstruction and the effectiveness of abdominal ultrasound imaging for the diagnosis.** *Emergency Care Journal* 2019, **15**(2).
13. Shyam DC, Shyam RC: **Small bowel volvulus in adult: a review of literature.** *European Journal of Medical and Health Sciences* 2020, **2**(3).
14. Suri S, Gupta S, Sudhakar P, Venkataramu N, Sood B, Wig J: **Comparative evaluation of plain films, ultrasound and CT in the diagnosis of intestinal obstruction.** *Acta radiologica* 1999, **40**(4):422-428.

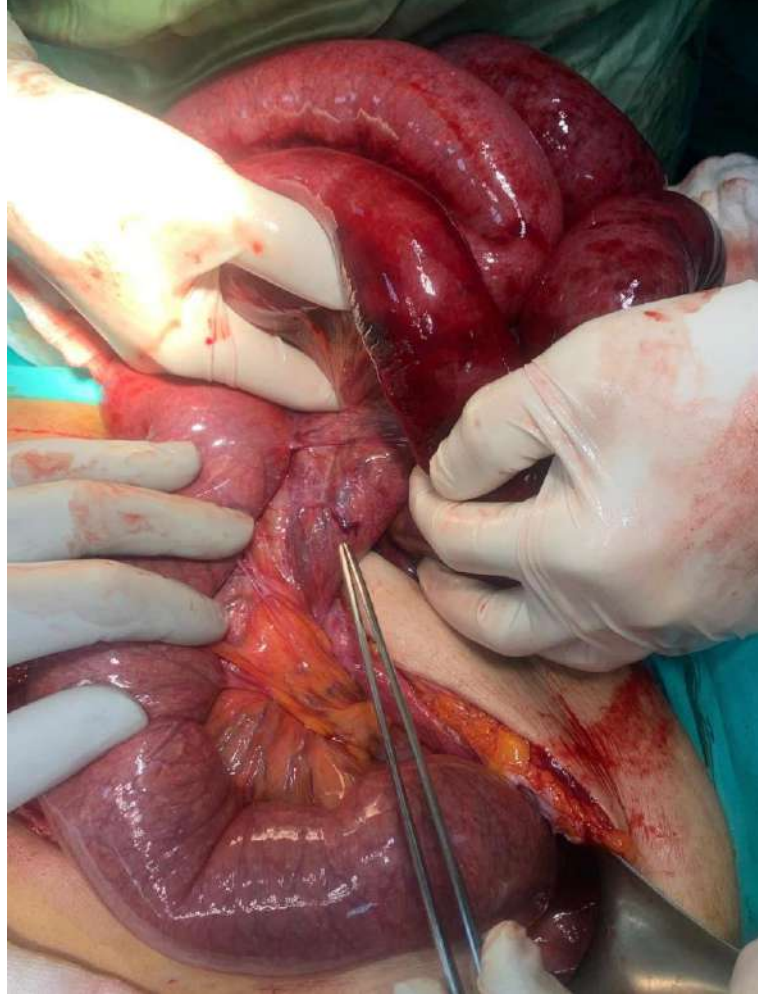
GÖRSELLER



Görsel 1: Ayakta direkt batın grafide bağırsaklarda yaygın distansiyon ve seviyelenme



Görsel 2: Bilgisayarlı tomografide midgut volvulus



Görsel 3: Jejunal volvulus

PNÖMATİK SİSTEM İLE SAC LEVHALARIN KESİLMESİ

Oktay TEKİNAY¹, Dr. Eymen AKDENİZ², Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR³

¹ Sinerji Yüksek Teknoloji A.Ş , AR-GE Merkezi, oktaytekinay@sinerj ISILAH.com.tr - ORCID ID:0009-0008-3431-5111

² Sinerji Yüksek Teknoloji A.Ş , AR-GE Merkezi, eymenakdeniz@sinerj ISILAH.com.tr - ORCID ID: 0000-0003-0169-4422

³ Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, mustafabozdemir@kku.edu.tr- ORCID ID: 0000-0002-9332-2054

Özet:

Sac levhalar, çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Ancak, genellikle belirli boyutlarda üretilen bu levhaların çoğu zaman istenilen ölçülere getirilmesi gerekmektedir. Bu işlem, genellikle hidrolik presler ve lazer kesim makineleriyle yapılmaktadır. Her bir kesme teknolojisi, belirli avantajlara sahipken, aynı zamanda bazı sınırlamalar ve zorluklar da taşımaktadır. Hidrolik presler, yüksek tonaj kapasitesine sahip olmakla birlikte, büyük boyutlu makineler oldukları için yer kaplama sorunları yaratabilir ve yüksek maliyetler gerektirebilir. Lazer kesim makineleri ise yüksek doğruluk ve hız sunmasına rağmen, yüksek ısınma riski, yangın tehlikesi ve karmaşık bakım gereksinimleri ile birlikte gelir. Bu makalede, geleneksel makinelerin yerine geçebilecek alternatif bir çözüm olarak, özel bıçak tasarımlarıyla çalışan pnömatik sistemler ile sac kesme yöntemi geliştirilmiştir. Bu tasarımlar, kesme işlemlerini daha düşük kuvvetle ve daha basit mekanizmalarla gerçekleştirme potansiyeline sahiptir. Özel bıçak tasarımları, farklı sac levha türleri ve kalınlıklarında esnek bir şekilde kullanılabilir, bu da üretim süreçlerine daha hızlı uyum sağlanmasını mümkün kılar. Sonuç olarak, bu alternatif çözüm, maliyetleri düşürmeyi ve makinelerin karmaşıklığını azaltarak daha verimli ve pratik bir üretim süreci sunmayı amaçlamaktadır. Bu yenilikçi tasarımlar, özellikle küçük ve orta ölçekli üreticiler için büyük bir avantaj sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Pnömatik piston, Sac levha, Kesici bıçak tasarımı

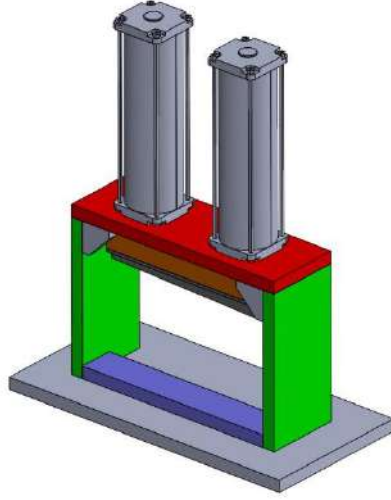
1. Giriş:

Sac levha kesme teknolojileri, endüstriyel üretim süreçlerinde önemli bir yere sahiptir ve farklı uygulama alanlarında geniş bir kullanım yelpazesi sunmaktadır. Geleneksel kesme yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılan teknolojiler hidrolik presler ve lazer kesim makineleridir. Bu makineler, çeşitli avantajlar sunmakla birlikte, aynı zamanda bazı sınırlamalar ve zorluklar da taşımaktadır. Hidrolik presler, özellikle büyük ve kalın sac levhaların kesilmesi ve şekillendirilmesi için yaygın olarak kullanılan makinelerden biridir. Bu makineler, hidrolik sistemlerin sağladığı yüksek tonaj kapasitesi sayesinde, sert ve kalın malzemelerin işlenmesinde oldukça etkilidir. Hidrolik presler, özellikle otomotiv, inşaat ve havacılık gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu makineler, yüksek kuvvet uygulama yetenekleri sayesinde büyük ebatlı kesimler ve şekillendirmeler için idealdir [1]. Bununla birlikte, hidrolik preslerin büyük boyutları, yer kaplama sorunları yaratmakta ve bu makinelerin kurulum maliyetlerini artırmaktadır [2]. Hidrolik preslerin avantajları arasında yüksek güç ve tonaj kapasitesine ek olarak, farklı malzemeleri ve kalınlıkları işleyebilme esnekliği de bulunmaktadır. Bununla birlikte, bu makinelerin kullanımı sırasında bazı zorluklar da ortaya çıkmaktadır. Hidrolik presler, genellikle büyük makineler oldukları için işletme alanında önemli yer kaplarlar ve kurulumları genellikle yüksek maliyetler gerektirir. Ayrıca, yüksek enerji tüketimi ve uzun bakım süreleri de hidrolik preslerin olumsuz yönlerindedir [3]. Hidrolik sistemlerdeki aşırı basınç ve sıcaklık artışı, makinelerin verimliliğini etkileyebilir ve uzun vadede bakım gereksinimlerini artırabilir. Bununla birlikte, yeni nesil hidrolik presler, daha verimli enerji kullanımı ve azaltılmış bakım ihtiyacı ile tasarlanarak bu sorunları çözmeye yönelik önemli adımlar atılmıştır [4]. Lazer kesim makineleri, özellikle ince ve hassas kesim gereksinimlerinin olduğu alanlarda tercih edilmektedir. Lazer teknolojisi, yüksek doğruluk ve hız sunarak, özellikle otomotiv, elektronik ve havacılık sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Lazer kesim, bir lazer ışınının malzeme yüzeyine odaklanarak malzemeyi eritmesi ve bu eriyen kısmın bir hava akışıyla uzaklaştırılması prensibiyle çalışır. Bu yöntem, yüksek kesim kalitesi, düzgün kenar yüzeyleri ve düşük tolerans hataları sağladığı için öne çıkmaktadır [5]. Lazer kesim makineleri, özellikle karmaşık geometrilerin ve ince levhaların kesilmesinde son derece etkilidir. Bunun yanı sıra, hızlı işlem süreleri sayesinde üretim süreçlerini hızlandırır ve yüksek verimlilik sağlar. Ancak, lazer kesim makinelerinin bazı sınırlamaları da vardır. En önemli sınırlamalardan biri, yüksek ısınma riski ve bu durumun yangın tehlikesine yol açabilmesidir. Lazer ışınının malzeme üzerinde yoğunlaşması, belirli bir noktada çok yüksek sıcaklıklara neden olabilir ve bu da kesim sırasında malzemenin yanmasına veya bozulmasına yol açabilir [6]. Ayrıca, lazer kesim makineleri, karmaşık bakım gereksinimleri ve yüksek enerji tüketimi ile bilinir. Lazer makinelerinin verimli bir şekilde çalışabilmesi için düzenli bakım ve ayar yapılması gereklidir. Bu makinelerin lazer tüpünün değiştirilmesi veya lenslerin temizlenmesi gibi bakım işlemleri, işletme maliyetlerini artırabilir. Bununla birlikte, lazer teknolojisi son yıllarda önemli gelişmeler göstermiştir. Yeni nesil lazer kesim makineleri, daha düşük enerji tüketimi, daha az bakım gereksinimi ve daha uzun ömürlü lazer tüpleri ile geliştirilmiştir [7]. Lazer kesim makinelerinin bir diğer zorluğu da, genellikle ince levhalarla sınırlı olmalarıdır. Kalın ve sert malzemeler üzerinde lazerle kesim yapmak, daha fazla güç ve uzun işlem süreleri gerektirir. Ayrıca, bazı metallerin lazerle kesilmesi sırasında yansımalar ve ısı ile ilgili sorunlar meydana gelebilir [8]. Bununla birlikte, lazer kesim makineleri, özellikle ince sac levhalar için tercih edilmeye devam etmektedir çünkü kesim kalitesi çok yüksek ve bıçakların değiştirilmesi gibi ek maliyetler gerekmez. Son yıllarda, hem hidrolik presler hem de lazer kesim makineleri için yenilikçi çözümler geliştirilmiştir. Hidrolik preslerin verimliliğini artırmaya yönelik araştırmalar, enerji tüketiminin azaltılması ve bakım süreçlerinin iyileştirilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Elektrikli ve hibrit hidrolik sistemler, bu makinelerin daha çevre dostu ve ekonomik olmasına olanak sağlamaktadır [9]. Lazer kesim makineleri için ise, daha hızlı ve daha verimli lazer tüpleri geliştirilmiş ve kesim hızları

artırılmıştır. Bunun yanı sıra, lazer kesim makinelerinin verimliliğini artırmak amacıyla, kesme sırasında ortaya çıkan ısının daha etkin bir şekilde yönetilmesi için soğutma sistemlerinde iyileştirmeler yapılmıştır [10]. Bu makalede, geleneksel kesme makinelerinin yerine geçebilecek alternatif bir çözüm olarak, özel bıçak tasarımlarıyla çalışan pnömatik sistemler ile sac kesme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yenilikçi yaklaşım, daha düşük kuvvetle ve daha basit mekanizmalarla kesim işlemi gerçekleştirebilme potansiyeli sunmaktadır. Özel bıçak tasarımları, farklı sac levha türleri ve kalınlıklarında esnek bir şekilde kullanılabilir, bu da üretim süreçlerinin daha hızlı uyum sağlamasına olanak tanır. Böylece, hem maliyetler düşürülebilir hem de makinelerin karmaşıklığı azaltılarak daha verimli ve pratik bir üretim süreci elde edilebilir. Bu çalışma, hidrolik presler ve lazer kesim makinelerinin avantajlarını ve sınırlamalarını ele alırken, alternatif çözüm olarak pnömatik sistemlerin önemini vurgulamayı amaçlamaktadır. Bu tür yenilikçi tasarımlar, özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler için büyük bir avantaj sağlayarak, daha esnek, ekonomik ve verimli üretim süreçlerine katkıda bulunabilir.

2. METERYAL VE METOD

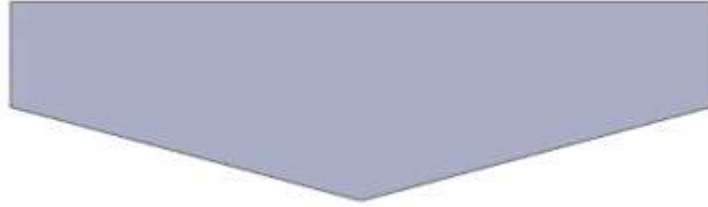
Bu çalışmada geliştirilen pnömatik sistem, temel anlamda geleneksel kesme makinelerinden önemli bir farklılık göstermektedir. Sistemin avantajlı olmasının temel nedenlerinden biri, kullanılan pistonlar ve yataklama için seçilen elemanlardır. Bu bileşenler, sistemin verimli ve düşük kuvvetle çalışmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca, sistemin mekanizması genel olarak basit bir yapıya sahiptir; bu, bakım ve işletme kolaylığı sağlamaktadır. Sistemin düşük tonajla çalışabilmesinin başlıca nedeni, kesim işlemini gerçekleştiren bıçak tasarımının şekli ve açısıdır. Özel olarak tasarlanmış bıçaklar, malzemeyi daha az kuvvetle ve yüksek hassasiyetle kesebilmekte, bu da sistemin düşük enerji tüketimiyle verimli çalışmasına olanak tanımaktadır. Bu yenilikçi tasarım, bıçakların kesme sırasında oluşturduğu kuvvetin optimize edilmesini sağlayarak, yüksek güç gereksinimi olmayan bir işlem sunmaktadır. Çalışmanın en belirgin özelliklerinden biri, bu sistemin düşük kesme kuvvetiyle çalışıyor olmasıdır. Bu özellik, makinenin düşük bütçeli olmasına olanak tanır, çünkü daha az enerji tüketimi ve daha basit mekanizmalar sayesinde üretim maliyetleri minimize edilmiştir. Sonuç olarak, bu sistem, hem ekonomik hem de verimli bir çözüm sunarak, özellikle küçük ve orta ölçekli üreticiler için önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu çalışmada, alüminyum ve benzeri metallerin kesiminde, bu malzemelerin daha düşük kesme kuvvetine ihtiyaç duyması nedeniyle geleneksel kesme sistemlerine gerek duyulmamaktadır. Alüminyum, genellikle daha düşük sertliğe ve kesme direncine sahip olduğu için, bu tür malzemelerin işlenmesi, daha düşük kuvvet gereksinimiyle gerçekleştirilebilir. Bu durum, geliştirilen pnömatik sistemin avantajlarından biridir, çünkü daha az kuvvetle çalışabilen bir makine tasarımı, yüksek maliyetli ve karmaşık kesme teknolojilerinin yerine etkili bir alternatif sunmaktadır. Ayrıca, ince sac plakalarının kesilmesi, kalınlık açısından daha kolay ve daha pratik bir işlemdir. İnce levhaların kesilmesinde, malzeme direncinin daha düşük olması, kesme işleminin hızını artırmakta ve enerji verimliliğini sağlamaktadır. Bu nedenle, ince sacların işlenmesi için geliştirilmiş bu pnömatik sistem, yüksek doğruluk ve hızla kesim yapabileceği kapasitesine sahiptir, bu da üretim süreçlerini daha verimli hale getirmektedir.



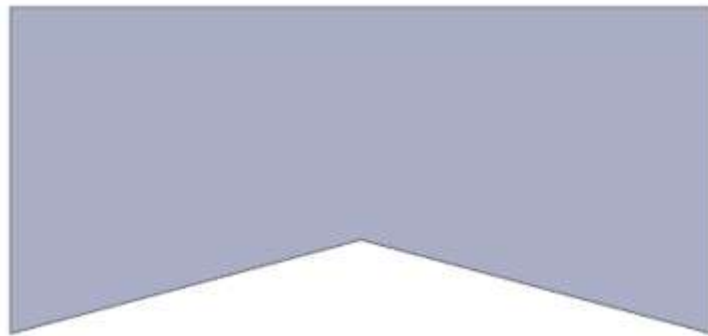
Şekil 10 PNÖMATİK SAC KESME MAKİNESİ



Şekil 11 KESME BİÇAĞI



Şekil 12 KESME BİÇAĞI



Şekil 13 KESME BİÇAĞI

3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışma, metal levhaların kesilmesi işleminde daha düşük kuvvet kullanarak yüksek verimlilik sağlanmasını hedefleyen bir sistemin tasarımını ve test edilmesini içermektedir. Geliştirilen sistemin en önemli avantajı, geleneksel kesme makinelerine kıyasla daha kısa sürelerde ve daha az ayar ile kesme işlemleri gerçekleştirebilmesidir. Bu, endüstriyel üretim süreçlerinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlayan önemli bir özelliktir. Sistemin tasarımında, kesme işleminin verimliliğini doğrudan etkileyen en önemli parametre olarak levhanın kalınlığı belirlenmiştir. Diğer parametreler sabit tutulmuş ve sadece kalınlık ölçüsüne göre ayarlamalar yapılmıştır. Bu basitleştirilmiş tasarım, daha kısa işlem süreleri ve daha düşük enerji tüketimiyle sonuçlanmış, geleneksel makinelerdeki karmaşıklıklardan ve uzun ayar sürelerinden kaçınılmıştır. Ayrıca, sistemin modüler yapısı, yedek parça temini ve bakım işlemlerini daha kolay ve ekonomik hale getirmiştir. Kullanılan malzeme seçimi de tasarımın başarısı açısından kritik olmuştur. Yüksek mukavemetli sac malzemeleri tercih edilerek, sistemin daha düşük kuvvetle verimli çalışması sağlanmıştır. Bu, kesme işlemlerinin verimliliğini artırmış ve sistemin enerji tüketimini en aza indirmiştir. Sonuç olarak, bu sistemin geliştirilmesi, metal levha kesiminde daha verimli, ekonomik ve güvenli bir alternatif sunmuştur. Geliştirilen sistem, pnömatik teknolojiler kullanarak daha basit bir yapıda olup, düşük tonaj gereksinimiyle çalışmaktadır. Bu, daha az karmaşıklık ve daha az risk taşıyan bir seçenek sunarak, operatörlerin güvenliğini artırmakta ve bakım maliyetlerini düşürmektedir. Bu sistem, yüksek tonajlı ve karmaşık makinelerle yapılan kesimlere kıyasla daha güvenli ve kullanımı kolay bir alternatif sunmaktadır. Sonuç olarak, bu araştırma, daha verimli, düşük maliyetli ve güvenli bir kesme teknolojisinin uygulanabilirliğini göstermiştir. Geliştirilen sistem, endüstriyel üretim süreçlerinde hem verimlilik hem de güvenlik açısından önemli bir iyileşme sağlayabilir. Bu tür sistemlerin gelecekte daha yaygın hale gelmesi, üretim süreçlerinin daha hızlı, ekonomik ve güvenli bir şekilde yönetilmesine katkı sağlayacaktır.

4. KAYNAKLAR:

- [1] Bergström, J., & Persson, E. (2004). Hydraulic Press Applications and Optimization in Sheet Metal Forming. *International Journal of Mechanical Sciences*, 46(12), 1797-1810.
- [2] Smith, J. (2010). Hydraulic Press Applications in Sheet Metal Cutting. *Industrial Engineering Journal*, 55(3), 345-352.
- [3] Jones, R., & Thompson, M. (2015). Challenges in Hydraulic Press Operations and Maintenance. *Journal of Manufacturing Technology*, 32(4), 112-120.
- [4] Sahu, A., & Choudhury, A. (2017). *Energy efficiency and maintenance optimization in hydraulic systems*. *Journal of Hydraulic Engineering*, 143(4), 03017001.
- [5] Wang, H., Zhang, L., & Liu, Q. (2017). Laser Cutting Systems: Challenges and Opportunities. *Journal of Laser Applications*, 29(1), 15-23.
- [6] Zhao, Z., Wang, X., & Zhang, Y. (2014). Thermal Effects and Cutting Quality in Laser Cutting. *Journal of Manufacturing Processes*, 16(4), 501-509.

- [7] Lee, C., Park, J., & Kim, Y. (2018). Recent Advances in Laser Cutting Technologies. *Journal of Laser Applications*, 30(2), 201-212.
- [8] Karakaya, S., Atasoy, Y., & Gokce, A. (2019). Laser Cutting of Metals: A Review on Challenges and Recent Developments. *Journal of Materials Processing Technology*, 270, 58-74.
- [9] Zhou, W., Liu, S., & Yang, L. (2020). Energy-Efficient Hydraulic Presses in Sheet Metal Forming. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(5), 051012.
- [10] Li, X., Liu, H., & Guo, M. (2021). Optimization of Cooling Systems in Laser Cutting Machines. *Applied Thermal Engineering*, 183, 116107.

EFFECT OF HYDROGEN ADDITION TO BIODIESEL FUEL ON DIESEL ENGINE PERFORMANCE, COMBUSTION AND EMISSIONS

Ümit NAS

Düzce Üniversitesi,
umitnas29@gmail.com - 0009-0000-6286-3539

Prof. Dr. Ali Etem GÜREL

Düzce Üniversitesi,
alietemgurel@duzce.edu.tr - 0000-0003-1430-8041

Serhat ARAMAK

Düzce Üniversitesi,
aramakserhat@gmail.com - 0009-0006-0760-022X

ABSTRACT

The integration of hydrogen into biodiesel fuel for diesel engines has shown promising results in enhancing engine performance, improving combustion efficiency, and reducing emissions. The addition of hydrogen to biodiesel blends, such as those derived from sunflower, soybean, and waste cooking oil, has been found to significantly improve brake thermal efficiency (BTE) and reduce brake specific fuel consumption (BSFC). Hydrogen's clean-burning characteristics contribute to a more complete combustion process, which is evident from the increased in-cylinder pressure and heat release rate (HRR). Hydrogen addition also plays a crucial role in emissions reduction. Studies have demonstrated a decrease in carbon monoxide (CO), unburned hydrocarbons (UHC), and smoke emissions when hydrogen is used in conjunction with biodiesel. However, a common challenge with hydrogen supplementation is the increase in nitrogen oxides (NO_x) emissions due to higher combustion temperatures. Overall, the use of hydrogen-enriched biodiesel blends in diesel engines offers a viable pathway to enhance performance and reduce harmful emissions, aligning with global efforts to develop sustainable and environmentally friendly fuel alternatives.

Keywords: Biodiesel, Hydrogen, Engine performance, Combustion, Emissions.

1. INRODUCTION

Adding hydrogen enrichment to biodiesel fuels to improve the emission, performance and combustion characteristics of diesel engines has become an important research topic in the field of internal combustion engines in recent years. This method combines the use of sustainable fuels and the potential to achieve cleaner combustion, providing both environmental and performance benefits.

Hydrogen is considered as a popular fuel additive for diesel engines due to its unique combustion properties such as high-energy content, fast burning rate and carbon-free nature [1, 2]. The addition of hydrogen helps biodiesel burn more completely, thus increasing combustion efficiency and reducing harmful emissions. Hydrogen also has the potential to improve ignition due to its lower ignition energy requirement, which can improve performance by allowing biodiesel to burn more efficiently [3].

However, practical applications of biodiesel-hydrogen blends in diesel engines face several challenges. These include determining optimal hydrogen-to-biodiesel ratios, establishing hydrogen storage and distribution infrastructure, and assessing the long-term effects of hydrogen enrichment on engine durability and emissions.

- **Combustion Properties:** Hydrogen enrichment can improve the flammability of the overall air-fuel mixture in the combustion chamber, leading to faster and more complete combustion [1, 4, 5]. The presence of hydrogen can increase the cylinder wall temperature, which can contribute to lower ignition delay and improved combustion efficiency [2, 5]. However, increasing the hydrogen ratio, especially under low load conditions, can lead to deterioration in ignition and combustion processes, resulting in decreased performance [6]. Therefore, it is crucial to determine optimal hydrogen enrichment levels to maximize the effect of hydrogen on combustion and prevent undesirable side effects.

- **Emission Characteristics:** Hydrogen enrichment has significant potential in reducing harmful emissions such as carbon monoxide (CO), hydrocarbon (HC) and particulate matter (PM) [1, 3, 7]. This is due to the more complete combustion of hydrogen and the absence of carbon atoms that contribute to the formation of emissions [1]. However, hydrogen enrichment may lead to an increase in nitrogen oxide (NO_x) emissions due to higher combustion temperatures [3, 5, 7, 8, 9, 10]. Control of NO_x emissions is an important issue in the use of hydrogen-enriched biodiesel fuels and requires further research.

- **Performance Properties:** The addition of hydrogen enrichment to biodiesel fuels can affect engine performance, especially in terms of brake thermal efficiency (BTE) and brake specific fuel consumption (BSFC) [7, 11]. The faster combustion rate of hydrogen and the increased heat release rate can improve the BTE of biodiesel fuels [3, 5, 9, 11, 12]. Additionally, hydrogen enrichment can help reduce BSFC by contributing to more complete combustion of biodiesel [4, 7, 11, 13]. However, the effect of hydrogen enrichment on performance may vary depending on factors such as engine operating conditions, hydrogen ratio, and biodiesel type.

In conclusion, adding hydrogen enrichment to biodiesel fuels is a promising strategy with the potential to improve the combustion, emission and performance characteristics of diesel engines. However, challenges and research gaps still exist for widespread adoption of this technology, requiring addressing optimal operating conditions, emission control strategies, and long-term durability considerations.

2. PREPARATION OF BIODIESEL

The preparation of biodiesel is typically accomplished through a process called transesterification. This process involves converting triglycerides in vegetable oils or animal fats into alkyl esters (biodiesel) and glycerol. Transesterification occurs in the presence of oil, alcohol (usually methanol or ethanol), and a catalyst (such as sodium hydroxide or potassium hydroxide) [8, 10]. The catalyst helps to accelerate the reaction between alcohols and triglycerides [10].

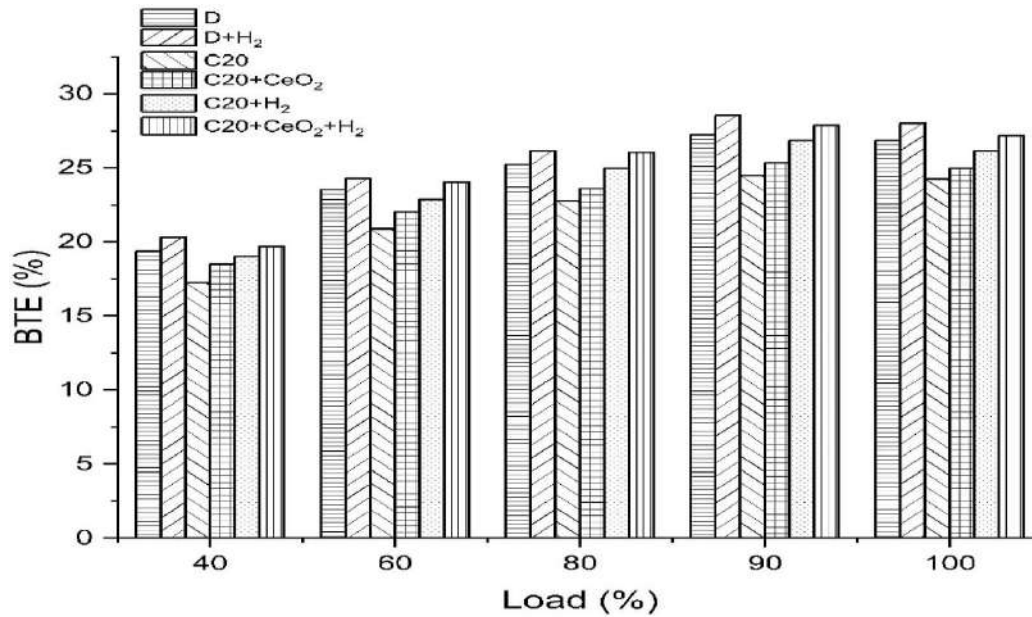
Biodiesel Preparation Process:

1. Oil, alcohol and catalyst are mixed in a certain ratio.
2. The mixture is heated and stirred for a certain period to complete the reaction.
3. After the reaction is complete, the mixture is allowed to separate into two phases, biodiesel and glycerol.
4. The biodiesel phase is located on top while the glycerol phase is located on the bottom.
5. The biodiesel phase is separated and washed for further purification.
6. Glycerol is a valuable by-product that can be used in a variety of applications.

The specific method and parameters used for biodiesel production may vary depending on factors such as the raw material used and the desired biodiesel quality [4, 10, 14].

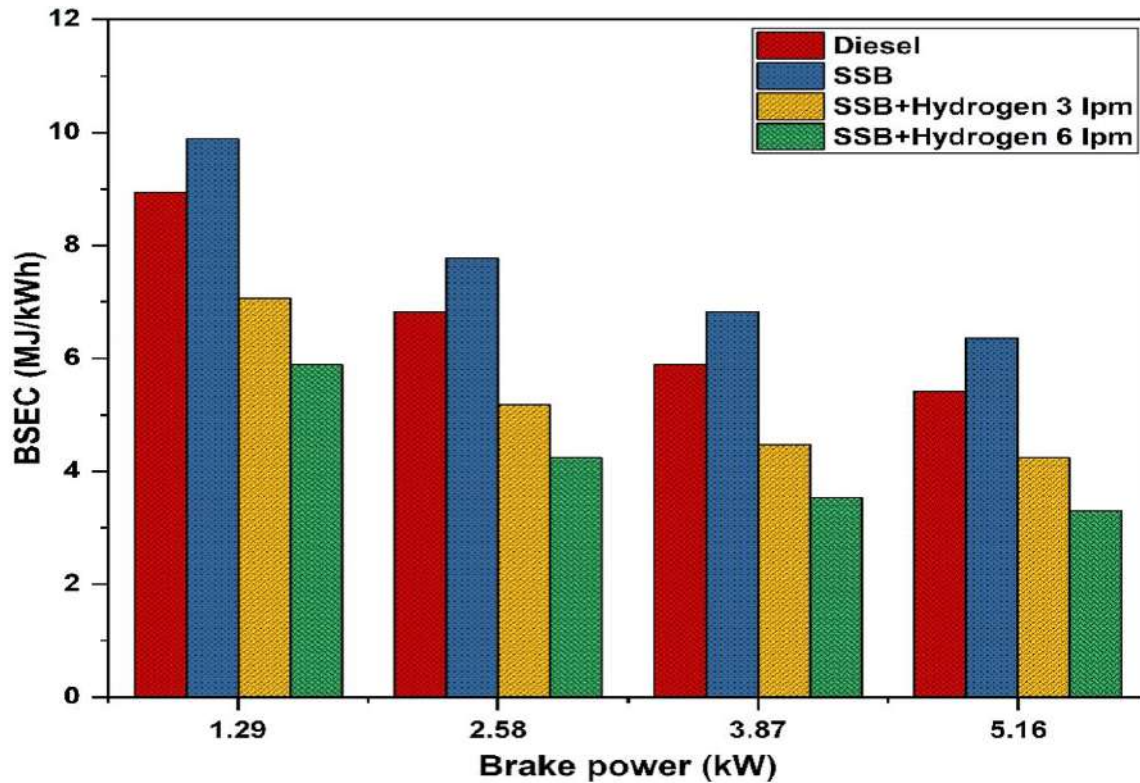
3. HYDROGEN ADDED BIODIESEL STUDIES

Polat et al. obtained B20 fuel by mixing sunflower oil methyl ester with pure diesel (D100). 100 ppm CeO₂ nanoparticles were added to the obtained B20 fuel. Then, the effect of adding H₂ to CeO₂ added B20 fuel at flow rates of 5 L/min and 10 L/min on a three-cylinder diesel engine at a constant engine speed of 2000 rpm and under variable loads was investigated. As a result of the experiments, the highest decrease in the BSFC value was obtained in B20 fuel with CeO₂ addition and H₂ added at a flow rate of 10 L/min, compared to D100, at a rate of 7.19%. The highest increase in BTE value was observed in B20 fuel with CeO₂ addition and H₂ added at a flow rate of 10 L/min, at a rate of 7.01% compared to D100. At the same time, it was determined that the highest decreases in CO, NO_x and HC emission values were 63.57%, 20.71% and 28.57%, respectively, in B20 fuel with CeO₂ addition and H₂ added at a flow rate of 10 L/min [4]. Chetia et al. created a biofuel mixture by adding CeO₂ nanoparticles to the biodiesel mixture obtained from cottonseed. The effect of combustion of biofuel blend by injecting H₂ into the engine in a CRDI engine was investigated. It was determined that CeO₂ nanoparticle contributes to more power production by triggering the combustion of the entire fuel and that H₂ contributes to more efficient combustion by encouraging the fuel to be distributed more homogeneously in the cylinder. As a result of the experiments, it was observed that BTE increased by 27.8% and BSFC decreased by 4.41% as a result of burning the biofuel mixture with H₂ compared to biodiesel. Additionally, BTE values obtained from different mixtures under different load conditions are given in Visual 1. In addition, it was determined that there were decreases of 24%, 22.8%, 6.42% and 69.5% in HC, CO, CO₂ and smoke emissions [2].



Visual 1. BTE values with different engine loads [2]

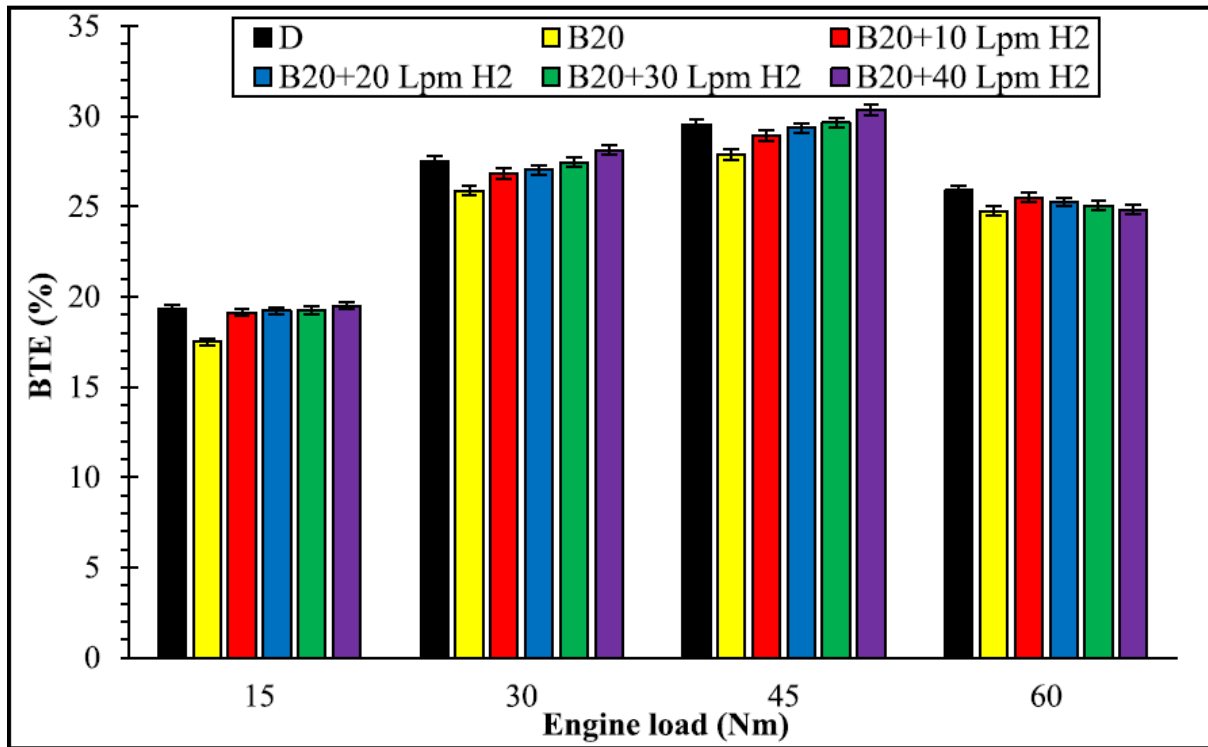
Jayabal studied the combustion of H₂ and sapota seed biodiesel (SSB) mixture in a dual fuel, single cylinder diesel engine. H₂ feeding was done with SSB fuel from the intake manifold at flow rates of 3L/min and 6L/min. It was observed that the mixture of H₂ and SSB increased the cylinder pressure by 17.26% and 21.03% at flow rates of 3L/min and 6L/min, respectively, HRR values by 43.91% and 56.13%, respectively, and BTE values by 6.29% and 14.62%, respectively, compared to diesel. It was also found that the BSEC value decreased by 21.73% at 3 L/min flow rate and by 39.13% at 6 L/min flow rate compared to diesel. Additionally, energy consumption values of other variations are shared in Visual 2. Additionally, it was observed that CO₂, CO, HC and smoke emissions decreased by 18.61% and 28.26%, 49.68% and 77.20%, 63.01% and 83.28%, 23.24% and 34.63%, respectively [3].



Visual 2. BSEC values with different brake power [3].

Chetia et al. investigated the performance, emission and combustion parameters in a CRDI engine in B20, B20+H₂, B20+CeO₂, B20+H₂+CeO₂ mixtures by adding H₂ and CeO₂ nanoparticles to B20 biodiesel obtained from waste edible palm. As a result of the experiments, there was an increase of 10.92% in B20+H₂ mixture and 15.89% in B20+CeO₂ mixture in BTE values compared to B20 biodiesel. In the B20+H₂+CeO₂ mixture, an increase of 3.53% was observed compared to pure diesel. It was determined that the B20+H₂+CeO₂ mixture has 16.12% lower fuel consumption compared to pure diesel. It was also determined that the B20+H₂+CeO₂ mixture had 11% lower ignition delay and 6% higher HRR values compared to pure diesel. Additionally, it was found that adding H₂ and CeO₂ nanoparticles to the biodiesel mixture contributes to reducing CO emissions by 30%, HC emissions by 50% and smoke emissions by 42% [15]. Sindhu et al. investigated the effects of adding H₂ at a flow rate of 5L/min to the mixtures of BB0 (100% Diesel), BB10 (10% Botryococcus braunii biodiesel + 90% Diesel) and BB20 (20% Botryococcus braunii biodiesel + 80% Diesel) prepared from Botryococcus braunii microalgae on the performance of a four-cylinder diesel engine. As a result of the experiments, the highest engine torque was obtained as 282 Nm at 1500 rpm for BB10H5 mixture and the lowest BSFC value was obtained as 138g/kWh for BB10H5 at 2000 rpm. Additionally, the highest BTE value was obtained as 37.5% in the BB20H5 mixture at 2000 rpm. When the emission values in the study were examined, the lowest CO amount was obtained as 376 ppm in the BB20H5 mixture and the lowest CO₂ rate was obtained as 5% in the BB0H5 mixture [10]. Alçelik et al. studied a three-cylinder diesel engine with water cooling and indirect injection. Combustion, performance and emission parameters of the fuels were investigated by testing diesel-biodiesel fuels at variable loads and constant engine speed. B20 fuel, obtained by mixing 20% diesel fuel and waste cooking oil by volume, was used as fuel.

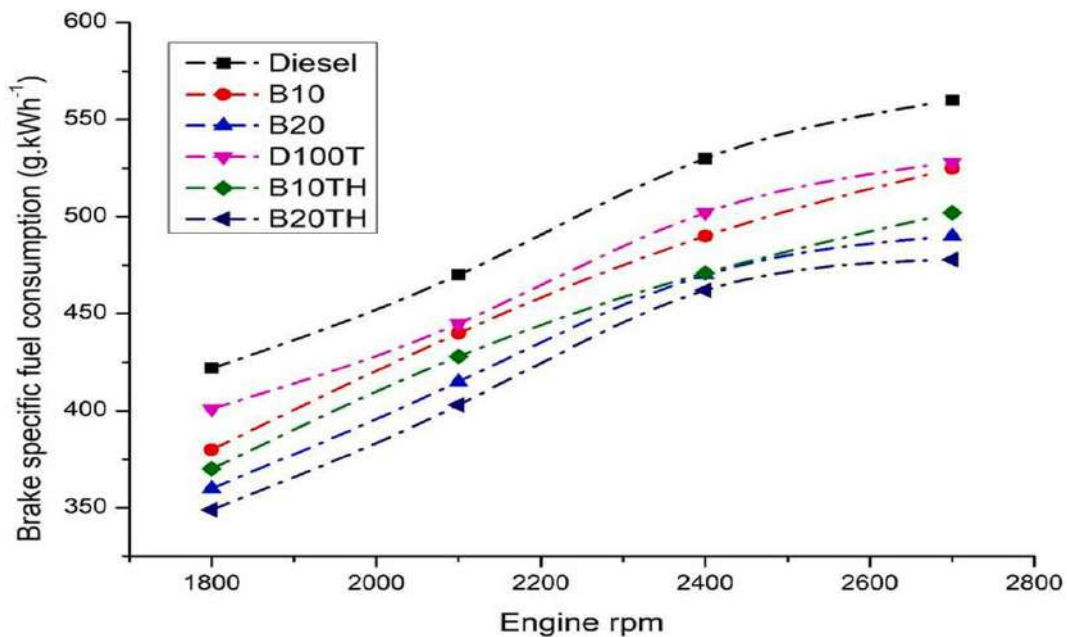
Hydrogen was added to the B20 fuel as a supplement through the intake manifold at variable flow rates. As a result of the experiments, it was observed that hydrogen supplementation at flow rates of 10, 20, 30 and 40 L/min reduced the BSFC values by 8.8%, 13.02%, 17.16% and 22.12%, respectively. Additionally, BTE changes of different fuel variants under different load conditions are given in Visual 3. As seen in Visual 3, it was found that H₂ supplementation increased BTE values by 4.51%, 5.05%, 5.62% and 7.12%, respectively. It was observed that it reduced NO_x emissions by 31.25%, 33.08%, 38.87% and 41.46%, respectively, and also reduced CO emissions by 17.47%, 30.73%, 51.8% and 59.04%, respectively [7].



Visual 3. BTE values with different engine loads [7]

Das and Das studied the effect of iron nanoparticle (INP) and H₂ addition to waste palm oil biodiesel on BTE and BSFC values in a CRDI engine. Experiments were carried out by adding 75 ppm INP and H₂ at a flow rate of 10 L/min to a mixture of 20% biodiesel and 80% diesel. As a result of the experiments, it was determined that the BTE value increased by 7.1% compared to diesel and was 28% due to the high combustion rate of H₂ and the high surface area/volume ratio of iron nanoparticles. In addition, due to the contribution of the high diffusion of H₂ and the ability of iron nanoparticles to reduce the ignition delay, the BSFC value was obtained as 0.29 kg/kWh, which is a significantly lower value compared to diesel. It was also concluded that the mixture of biodiesel, INP and H₂ increased the internal cylinder pressure by 5.3% and the HRR value by 6.7% compared to diesel. Additionally, the mixture reduced CO and HC emissions by 37.5% and 41.8%, respectively [16]. Reddy and Sarangi prepared a mixture of 10% water + 70% pure diesel + 20% Biodiesel (B20W10) with biodiesel obtained from waste mango seed. Then, Al₂O₃ and TiO₂ nanoparticle mixture (B20W10 NP25, B20W10 NP50 and B20W10 NP75) at different concentrations of 25, 50 and 75 ppm and 10 vol% H₂ were added to this mixture. The effects of the obtained mixtures on a hydrogen-fueled single-

cylinder diesel engine were investigated. As a result of the experiments, a maximum BTE value of 32% was obtained, corresponding to the lowest BSFC value of 0.204 kg/kWh. Additionally, the B20W10 NP75 blend resulted in a reduction of 50%, 6.7%, 27% and 15% in CO, NO_x, HC and smoke emissions, respectively, compared to 100% biodiesel [13]. Zhang et al. studied the effects of TiO₂ nanoparticle and H₂ addition to waste cooking oil biodiesel on a direct injection single-cylinder diesel engine. In the experiments, mixtures of D100 (pure diesel), B10 (90% diesel + 10% biofuel), B20 (80% diesel + 20% biofuel), D100T10 (pure diesel containing 100 ppm nanoparticles), B10TH (90% diesel + 10% biofuel, 100 ppm nanoparticles + 5 L/min H₂) and B20TH (80% diesel + 20% biofuel, 100 ppm nanoparticles + 5 L/min H₂) were used. As a result of the experiments, it was determined that B10TH and B20TH mixtures increased the engine torque by 6% and 5% compared to B10 and B20. At the same time, 21.5% and 21% were obtained for B10 and B20, respectively, and BTE values were obtained as 22% and 21.6% in B10TH and B20TH mixtures, respectively. In addition, the lowest BSFC value was observed at 349 g/kWh in B20TH fuel, which is also a mixture with H₂ addition, and the BSFC values of other fuel variations are presented in Visual 4. Another thing the researchers discovered is that adding H₂ to biofuel blends and pure diesel reduces CO emissions by an average of 26%. In addition, it was observed that H₂ addition also reduced CO₂ emissions and NO_x emissions by 20 and 30 ppm in B10TH and B20TH fuels compared to B10 and B20 fuels [11].

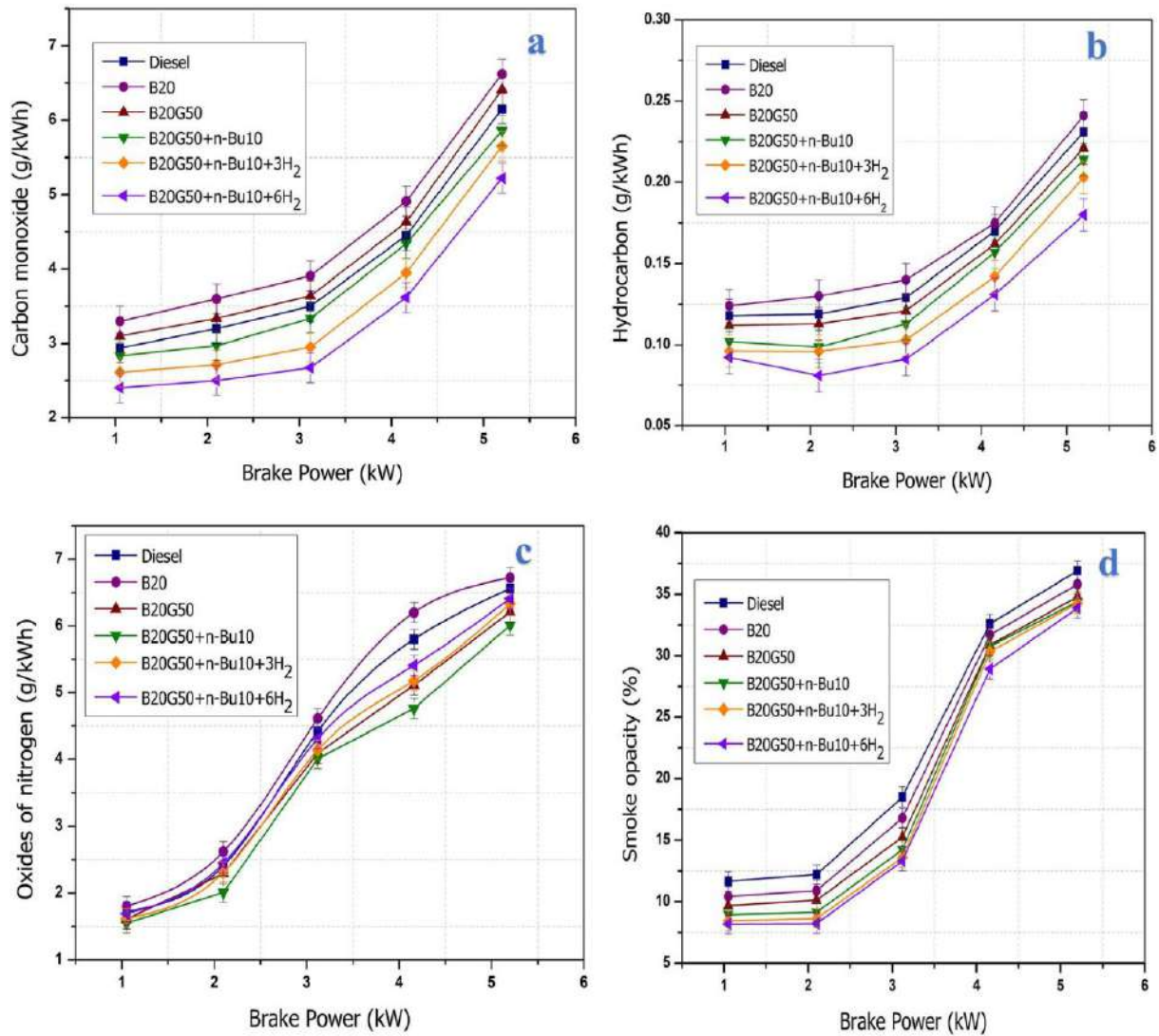


Visual 4. BSFC values with different speeds [11]

Murugesan et al. investigated the mixtures obtained by adding Graphene Oxide (GO) and H₂ to microalgae (*Euglena Sanguinea*) biodiesel in two cases: compression ignition (CI) and homogeneous charge compression ignition (HCCI). Experiments were carried out by adding constant H₂ addition at a flow rate of 3 L/min and GO nanoparticle concentrations of 20, 40, 60 and 80 ppm to the mixtures of 20% *Euglena Sanguinea* + 80% diesel (ES20D80), 40% *Euglena Sanguinea* + 60% diesel (ES40D60), 60% *Euglena Sanguinea* + 40% diesel (ES60D40), 80% *Euglena Sanguinea* + 20% diesel (ES80D20). As a result of the experiments, the highest BTE value was obtained as 30.8% in ES20D80 fuel with 80 ppm GO addition in HCCI case. At the

same time, the lowest BSFC value was obtained in the range of approximately 0.48-0.50 kg/kWh in ES20D80 fuel with 80 ppm GO addition in HCCI case. When the emission values were examined, in addition to the lowest CO emission in the ES20D80 fuel with 80 ppm GO addition, 75.2% lower NO_x emission was observed in the HCCI mode compared to the CI mode from the same fuel [14]. Bharti et al. added H₂ and 75 ppm TiO₂ nanoparticles to the B20 biodiesel mixture obtained from waste cooking oil at a flow rate of 10 L/min. The behavior of this mixture in a CRDI engine in terms of emission, efficiency and fuel consumption parameters was investigated. As a result of the experiments, the BTE value of the B20+H₂+TiO₂ mixture increased by 8.21% compared to pure diesel. It was observed that the BSFC values of the same mixture decreased by 44.83% and 42.86% compared to B20 and pure diesel, respectively. In addition to these improvements, an increase of 4.26% and 6.57% in ICP and HRR values was detected, respectively, compared to pure diesel. Additionally, this mixture reduced CO and HC emissions by 74% and 27.27%, respectively [12]. Wang et al. investigated the performance, fuel consumption and emission parameters of the fuel blends (S10NH, S20NH) obtained by adding H₂ and 100 ppm CeO₂ nanoparticles to the biodiesel blends S10 (10% safflower oil + 90% diesel) and S20 (20% safflower oil + 80% diesel) obtained from safflower oil at a flow rate of 5 L/min in the direct ignition engine of road and bridge machinery. As a result of the experiments, the torque values obtained from S10NH and S20NH fuels compared to S10 and S20 biodiesels increased by 6% and 5%, respectively. At the same time, the highest BTE values were obtained from S10NH and S20NH fuels at 1800 rpm with the rates of 22% and 21.2%, respectively. Additionally, it was determined that CO₂ emissions of S10NH and S20NH fuels decreased by 3.72% and 3.48%, respectively, compared to diesel. Additionally, it was determined that adding H₂ to biodiesel blends and pure diesel reduced CO emissions by an average of 25.3% [8]. Rawat et al. reported improvements in performance, emissions and exergy values in a CI engine by adding H₂ to the ethanol-jatropha biodiesel (BE10) blend under various load conditions for five different injection times. It was observed that the addition of H₂ to BE10 fuel increased the BTE value in the range of 2.09-2.92% for 2500 μs injection time. At the same time, an increase in exergy efficiency occurred in the range of 1.85-2.67%. The exergy destruction and entropy production of the system decreased in the ranges of 1.72-7.05% and 4.26-9.47%, respectively. When the emission values are examined, for BE10H5 (6200 μs – H₂ injection) fuel, UHC, CO and PM emissions decreased by 25%, 41.35% and 26.67%, respectively, compared to pure diesel [17]. Xia et al. studied the effect of adding nanoparticles and H₂ to a biodiesel mixture obtained from castor oil on a CI engine. It was determined that the addition of 50 ppm nanoparticles with H₂ increased the BTE value by approximately 2.5%. Additionally, it was observed that C50H (Biodiesel + 50 ppm nanoparticles + H₂) test fuel reduced the BSFC value by 25% compared to conventional diesel fuel. Additionally, when the emission values were examined, HC emission was observed as 21 ppm for diesel, while it was only 2.03 ppm for C50H fuel. At the same time, it was concluded that biodiesel and H₂ blends reduce CO emissions by approximately 54% compared to diesel fuel [9]. Pullagura et al. obtained a new fuel blend (B20G50 + n-Bu10) by adding 50 mg/L graphene nanoparticles (G) and 10 vol% n-Butanol to the sterculia foetida biodiesel blend (B20). At the same time, H₂ was added to the obtained fuel mixture as a secondary fuel at flow rates of 3 L/min (B20G50 + n-Bu10 + 3H₂) and 6 L/min (B20G50 + n-Bu10 + 6H₂). The performance and emission behaviors

of the fuel mixtures they created on a CI engine were investigated. As a result of the experiments, it was observed that the BTE value increased by 7.56% in B20G50 + n-Bu10 + 6H₂ fuel compared to B20 fuel, while the BSFC value decreased by 20.75%. As a result of the experiments, it was observed that the BTE value increased by 7.56% in B20G50 + n-Bu10 + 6H₂ fuel compared to B20 fuel, while the BSFC value decreased by 20.75%. When the effect of the B20G50 + n-Bu10 + 6H₂ mixture on the emission values was examined, decreases of 19.75%, 24.86%, 4.4% and 8.8% in CO, HC, NO_x and smoke emissions were observed, respectively. Additionally, emission values of other fuel variations are given in Visual 5 [18].



Visual 5.Changes of CO, HC, NO_x and smoke emissions [18].

Annamalai and Murugesan studied the effects of fuel blends on the performance and emission values in a CI engine by adding H₂ to 100% biodiesel fuel derived from algae at rates of 10.4 g/h, 21.6 g/h, 32.4 g/h, 43.2 g/h and 54 g/h. As a result of the experiments, increases of 1.8%, 5.93%, 9.3%, 17.3% and 11.92% were observed in BTE values for fuels with H₂ addition at rates of 10.4 g/h, 21.6 g/h, 32.4 g/h, 43.2 g/h and 54 g/h, respectively, compared to 100% biodiesel fuel. It was found that the addition of H₂ at a flow rate of 43.2 g/h in pure biodiesel fuel resulted in a 9.5% decrease in the BSEC value compared to diesel. It was been observed

that the addition of H₂ to pure biodiesel fuel results in a reduction of approximately 45%, 48% and 41% in UHC, CO and smoke emissions, respectively, compared to diesel [19]. Chaichan studied the performance and emission characteristics of H₂, biodiesel and EGR in a CI engine. It was found that the addition of H₂ to biodiesel without EGR system increased the BTE value by 12.9%. It was observed that the use of biodiesel with H₂ addition without EGR caused reductions in CO, HC and PM emissions by approximately 45.8%, 57.69% and 42%, respectively, compared to conventional diesel fuel. In addition, it was determined that the use of biodiesel with H₂ added as fuel caused an increase in NO_x emissions and showed that this increase in NO_x emissions could be reduced by using EGR [6]. Khan et al. used 20% blended biodiesel (B20) of cottonseed oil methyl ester in their study. The performance and emission values on a single-cylinder, four-stroke diesel engine at a nominal speed of 1500 rpm by adding H₂ to B20 biodiesel at a flow rate of 15 L/min were investigated. As a result of the experiments, the highest BTE value was obtained as 33.60% in B20 fuel with H₂ addition at 220 bar pressure. The highest decrease in BSFC values was observed as 0.237 kg/kWh in B20 fuel with H₂ addition at 220 bar pressure. The effect of H₂ addition on emissions was determined to be 75 ppm in B20 fuel with H₂ addition, again at 220 bar pressure, with the highest reduction in HC emissions. Additionally, the highest reduction in CO₂ emissions was observed at 0.022% by volume on the same pressure and fuel [20]. Akcay et al. investigated the effect of H₂ addition to the biodiesel fuel blend (B25) obtained from 25% waste cooking oil and 75% diesel fuel on the combustion characteristics in a dual injection CI engine. The highest cylinder internal pressure value was obtained from B25 fuel with H₂ addition at a flow rate of 40 L/min compared to diesel fuel. It was also found that the addition of H₂ increased the pressure rise rate. The highest pressure rise rate was observed as 4.19 bar/°CA with H₂ addition at 80 Nm engine load and 40 L/min flow rate. Additionally, the highest HRR value was observed in B25 fuel with H₂ addition at 10L/min flow rate at 80 Nm engine load [5]. Karagöz et al. investigated the performance and emission behaviors in a CI engine by adding H₂ to pure diesel fuel at 22% and 53% energy concentrations. It was observed that the addition of H₂ to pure diesel decreases the BTE values and increases the BSFC values. BTE values were obtained as 29.43, 27.06 and 23.04 in pure diesel, 22% H₂ added and 53% H₂ added fuel mixtures, respectively. In addition to these changes, positive results were observed in emissions. CO emissions were obtained as 2.52 g/kWh, 0.82 g/kWh, 0.77 g/kWh for pure diesel, 22% H₂ added, and 53% H₂ added fuel blends, respectively. Additionally, in fuel mixtures with 22% H₂ and 53% H₂, HRR and cylinder internal pressure values increased by 7.81%, 36.20%, 25.77%, 110.94%, respectively. Considering the previous literature studies, it is proven that the addition of H₂ to biodiesel blends supported by the addition of nanoparticles instead of pure diesel will bring about improvements in BTE and BSFC values as well as emission values in the diesel engine [1].

4. CONCLUSION

According to the data obtained from the sources, it can be concluded that hydrogen enrichment and nanoparticle addition improve the performance, emissions and combustion characteristics of diesel engines. Due to the high combustion rate of hydrogen and the catalytic nature of nanoparticles, the addition of hydrogen and nanoparticles to diesel-biodiesel blends reduces brake specific fuel consumption while increasing brake thermal efficiency. These improvements can be attributed to improved combustion efficiency and reduced emissions.

Studies have shown that hydrogen enriched biodiesel blends show significant reductions in CO, HC and smoke emissions. The presence of hydrogen contributes to more complete combustion and therefore to a reduction in harmful emissions. However, a slight increase in NO_x emissions was observed. This increase can be attributed to higher combustion temperatures resulting from the addition of hydrogen.

Overall, literature suggests that hydrogen enrichment and nanoparticle addition is a promising strategy to improve the performance and emission characteristics of diesel engines. Further development of this technology could contribute significantly to the sustainability of the transportation sector.

Additionally, using sustainable biodiesel sources such as waste cooking oil biodiesel can help reduce dependence on fossil fuels and promote environmental sustainability. The widespread availability and low cost of waste biodiesel make it an attractive fuel alternative for diesel engines.

REFERENCES

1. Karagöz, Y., Güler, İ., Sandalcı, T., Yüksek, L., Dalkılıç, A. S. Effect of hydrogen enrichment on combustion characteristics, emissions and performance of a diesel engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, 41, 1, 2016.
2. Chetia, B., Debbarma, S., Das, B. Enhancing engine performance, combustion, and emissions characteristics through CeO₂-modified cottonseed biodiesel with hydrogen enrichment: A comprehensive investigation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 89, 2024.
3. Jayabal, R. Effect of hydrogen/sapota seed biodiesel as an alternative fuel in a diesel engine using dual-fuel mode. *Process Safety and Environmental Protection*, 2024.
4. Polat, F., Sarıdemir, S., Gad, M. S., El-Shafay, A. S., Ağbulut, Ü. Enhancing diesel engine performance, combustion, and emissions reductions under the effect of cerium oxide nanoparticles with hydrogen addition to biodiesel fuel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 83, 2024.
5. Akcay, M., Yilmaz, I. T., Feyzioglu, A. The influence of hydrogen addition on the combustion characteristics of a common-rail CI engine fueled with waste cooking oil biodiesel/diesel blends. *Fuel Processing Technology*, 223, 2021.
6. Chaichan, M. T. Performance and emission characteristics of CIE using hydrogen, biodiesel, and massive EGR. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43,10, 2018.
7. Alçelik, N., Sarıdemir, S., Polat, F., Ağbulut, Ü. Role of hydrogen-enrichment for indirect diesel engine behaviours fuelled with the diesel-waste biodiesel blends. *Energy*, 302, 2024.

8. Wang, J., Sun, H., Devanesan, S., Alsahi, M. S., Anderson, A., Daniel, F., Praveenkumar, T. R. Performance and emission characteristics of safflower oil biodiesel blended with nanoparticles and hydrogen on diesel engines of road and bridge machinery. *Fuel*, 352, 2023.
9. Xia, C., Brindhadevi, K., Elfasakhany, A., Alsehli, M., Tola, S. Performance, combustion and emission analysis of castor oil biodiesel blends enriched with nanoadditives and hydrogen fuel using CI engine. *Fuel*, 306, 2021.
10. Sindhu, R., Prabhat, S. T., Hiep, B. T., Chinnathambi, A., Alharbi, S. A. Experimental assessment of cork based *Botryococcus braunii* microalgae blends and hydrogen in modified multicylinder diesel engine. *Fuel*, 359, 2024.
11. Zhang, X., Yang, R., Anburajan, P., Van Le, Q., Alsehli, M., Xia, C., Brindhadevi, K. Assessment of hydrogen and nanoparticles blended biodiesel on the diesel engine performance and emission characteristics. *Fuel*, 307, 2022.
12. Bharti, A., Debbarma, S., Das, B. Effect of hydrogen enrichment and TiO₂ nanoparticles on waste cooking palm biodiesel run CRDI engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48,75, 2023.
13. Reddy, S. R., Sarangi, S. K. Optimizing the effect of using novel hydrogen enriched nano particles added emulsified waste mango seed biodiesel in diesel engine. *Fuel*, 342, 2023.
14. Murugesan, P., Hoang, A. T., Venkatesan, E. P., Kumar, D. S., Balasubramanian, D., Le, A. T. Role of hydrogen in improving performance and emission characteristics of homogeneous charge compression ignition engine fueled with graphite oxide nanoparticle-added microalgae biodiesel/diesel blends. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47,88, 2022.
15. Chetia, B., Debbarma, S., Das, B. An experimental investigation of hydrogen-enriched and nanoparticle blended waste cooking biodiesel on diesel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 49, 2024.
16. Das, S., Das, B. The characteristics of waste-cooking palm biodiesel-fueled CRDI diesel engines: Effect hydrogen enrichment and nanoparticle addition. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48,39, 2023.
17. Rawat, J. S., Bhowmik, S., Panua, R., Madane, P. A., Triveni, M. K. Investigation of performance, emission and exergy parameters of a compression ignition engine fuelled

- with ethanol-jatropha biodiesel blend under varying hydrogen strategies. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48, 95, 2023.
18. Pullagura, G., Vanthala, V. S. P., Vadapalli, S., Bikkavolu, J. R., Barik, D., Sharma, P., Bora, B. J. Enhancing performance characteristics of biodiesel-alcohol/diesel blends with hydrogen and graphene nanoplatelets in a diesel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 50, 2024.
 19. Annamalai, B., Murugesan, P. The combined effect of hydrogen enrichment and exhaust gas recirculation on the combustion stability, performance and emissions of CI engine energized by algae biodiesel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 50, 2024.
 20. Khan, N., Balunaik, B., Yousufuddin, S. Performance and emission characteristics of a diesel engine with varying injection pressure and fueled with hydrogen and cottonseed oil methyl ester blends. *Materials Today: Proceedings*, 5, 2, 2018.

OTOMOBİLLERDE KULLANILAN HELİSEL YAYLARIN TASARIM DEĞİŞİKLİĞİ İLE AĞIRLIĞININ HAFİFLETİLMESİ

Ali Osman ÖZCAN

Phi Metal Otomotiv ve Ticari A.Ş.,

osman.ozcan@phimetal.com.tr - 0009-0006-8498-9718

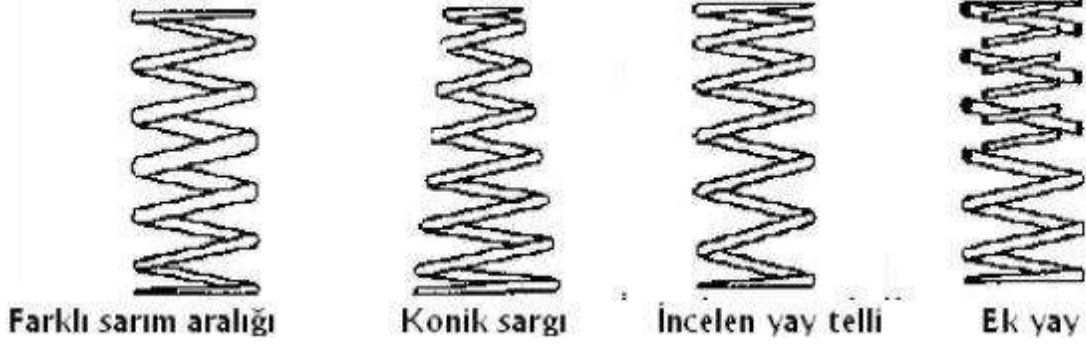
ÖZET

Otomobillerde kullanılan helisel yaylar yollarda bulunan tümsek ve çukurların araca uyguladığı sarsıntıyı ve kuvveti sönmeye yarar. Yollarda bulunan süreksizlikler aracın diğer parçalarını hasara uğratmaya sebebiyet verir. Helisel yaylar elastik şekil değişimiyle bu kuvvetleri sönmeler. Aynı zamanda aracın ağırlığını da taşır. Montajlandığı bölge atmosfere açık olduğu için su, çamur gibi dış etkenlere maruz kalmaktadır. Bu etkenler nedeniyle helisel yayların yorulma direnci, korozyon direnci ve mukavemeti yüksek olmalıdır. Otomotiv sektörünün elektrikli araçlara yönelmesiyle beraber araçların ağırlıkları daha da konuşulmaya başlanmıştır. İçten yanmalı araçlarda ağırlık yol tutuşu ve yakıtı düşürürken elektrikli araçlarda ağırlık düşüşü aracın menzilin arttırmaktadır. İçten yanmalı motorlara nazaran elektrikli araçların şarj süresinin daha fazla olması araçların ağırlığının düşürülmesi yönünde teşvik sağlamaktadır. Bu çalışmada aracın ağırlığının düşürülmesi için mevcut durumda kullanılan helisel yay üzerine çalışılmıştır. Helisel yayın ağırlığını düşürmek için tel çapı düşürülmüştür. Aracın ağırlığını taşıyabilmesi, sürüş konforunun düşmemesi viraj performansının kötü yönde etkilenmemesi için geliştirilen yayın mevcut yayın isterlerini karşılaması gerekmektedir. Bunlar da göz önüne alınarak daha küçük tel çapı ile helisel yay tasarlanmıştır. Yeni tasarlanan yay simülasyon programında rate değeri, taşıyabileceği maksimum kuvvet değeri ve yorulma ömrü gibi isterler incelenmiştir. Yeni tasarlanan yay mevcut yayın kapasitesinde çalışabilmektedir. Bununla beraber yeni tasarlanan helisel yay bağlantı ekipmanlarıyla temas yüzeyi de incelenmiş olup aracın seyir halindeyken helisel yayın amortisör ekipmanlarıyla uyumlu çalışabilmesi için gerekli geometrik düzenlemeler yapılmıştır. Bu çalışmanın sonunda mevcut durumdaki helisel yay ile aynı özellikleri karşılayabilen daha hafif bir yay üretilmiş ve amortisör ekipmanlarıyla daha uyumlu çalışır hale getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Helisel yay, Simülasyon, Otomotiv, Süspansiyon, Amortisör.

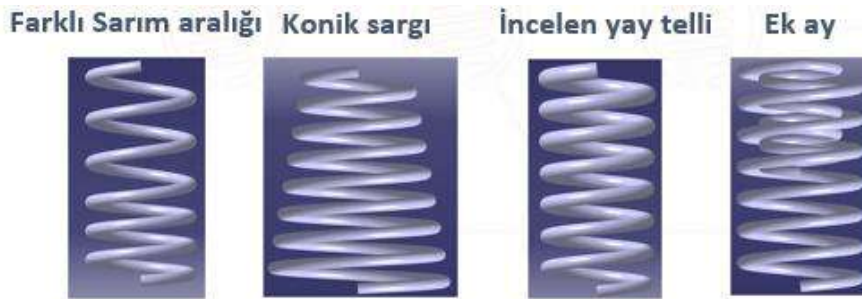
1. GİRİŞ

Otomobillerde kullanılan süspansiyon yayları aracın seyir halinde tekerleğe uygulanan kuvvetleri sönümle görevi yapar. Yollarda bulunan kasis ve çukurlar tekerleğin yoldaki süreksizliğini şoför ve yolcuların konforun kötü yönde etkiler. Süspansiyon yayları yoldaki süreksizliğin oluşturduğu bu kuvvetleri sönümleyerek sürüş konforunun artmasını sağlar. Ayrıca konforun yanı sıra otomobilin viraj performansına da etki eder. Viraj sırasında aracın maruz kaldığı merkez kaç kuvvetine karşı direnç göstererek aracın virajda savrulmasını önler ve viraj performansını etkiler. Görsel 1. de helezon yay çeşitleri görülmektedir [1]. Farklı sarım aralığına sahip helezon yaylar, konik sarılmış helezon yaylar, incelen yay telli helezon yaylar ve ek yay eklenmiş helezon yaylar olmak üzere farklı çeşitleri bulunmaktadır. Görsel 2. de Phi Metal şirketinde tasarlanmış yaylar görülmektedir.

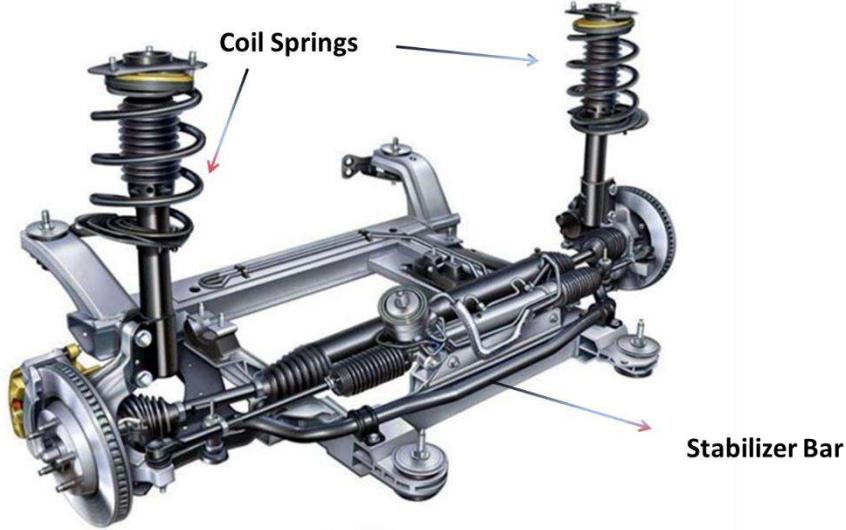


Görsel 14. Helezon yay çeşitleri [1].

Otomobillerde kullanılan helezon yaylar süspansiyon görevini yerine getirebilmesi için bazı özelliklere sahip olmalı. Araç üzerinde etrafında bir koruyucu olmadığı için korozyon dayanımının yüksek olması gerekmektedir. Görsel 3. de Helisel yayın araç üzerindeki konumu görülmektedir.

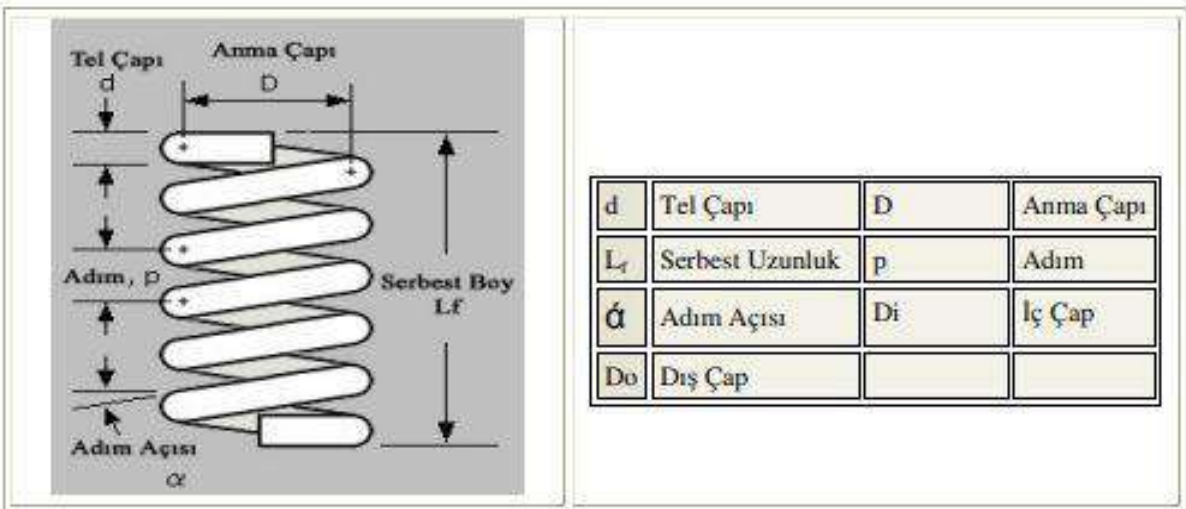


Görsel 15. Phi Metal şirketinde tasarlanmış yaylar.



Görsel 3. Helisel yayın araç üzerindeki konumu görülmektedir.

Çevrimli yüklere maruz kaldığı için yorulma direncinin yüksek olması gerekmektedir. Aracın bütün yükünü taşıdığı için mukavemetinin yüksek olması gerekmektedir. Aynı zamanda aracın bütün yükünü taşıırken süspansiyon görevini yerine getirebilmesi için mukavemetinin belli bir aralıkta olması gerekmektedir. Süspansiyon yaylarının araçta maksimum konfor ve maksimum yol tutuşu için dikkat edilmesi gereken bazı parametreler vardır. Bu parametreler yay sabiti, yay yükü jounce boyu, serbest boyu, rebound boyu ve tel çapıdır. Ayrıca bir yayı tanımlayabilmek içinde bazı parametreler gereklidir. Görsel 4. de bu parametreler görülmektedir.



Görsel 4. Yay tanım parametreleri [2].

Helisel yaylar burulma gerilmesi altında şekil değişimine uğrar. Yay kuvvet uygulandığında yay burularak enerjiyi depolar. Yük kalktığında ise yay eski haline döner. Yuvarlak telli helisel yayın şekil değiştirme formülü görsel 5. de görülmektedir [2]. Formüldeki F kuvvet, D yayın çapı, N_a aktif sarım sayısı, d tel çapı ve G kayma modülüdür. Uygulanan kuvvetin yayda ne ölçüde şekil değiştireceğini vermektedir.

$$\delta = \frac{8 \cdot F \cdot D^3 \cdot N_a}{d^4 \cdot G}$$

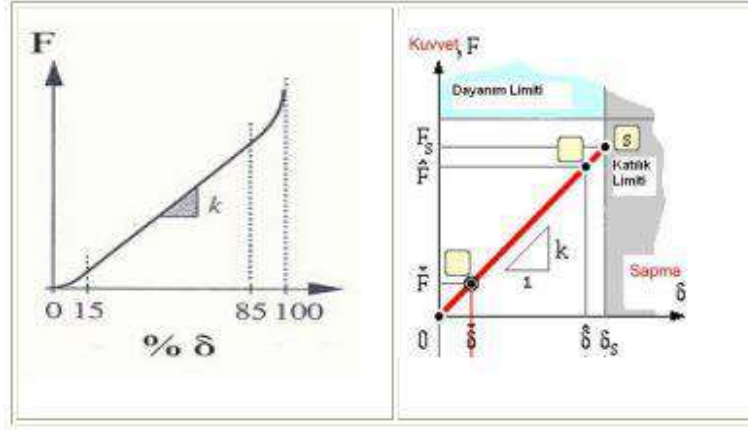
Görsel 5. Şekil değiştirme formülü [2].

Yayın otomobildeki konforunu rate parametresi vermektedir. Birim şekil değişimdeki kuvveti ifade eder. Rate büyüdükçe konfor azalır, aracın yol tutuşu artar ve aracın viraj esnasındaki savrulması azalır. Görsel 6. de rate formülü görülmektedir.

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot N_a}$$

Görsel 6. Rate formülü [2].

Rate kuvvet şekil değişimi grafiğinden de hesaplanabilmektedir. Grafikteki eğim rate vermektedir. Görsel 7. de kuvvet şekil değişimi grafiği görülmektedir.



Görsel 7. Kuvvet şekil değişimi grafiği [2].

Yaya uygulanan kuvvetin etkisiyle yayda kesme gerilmesi ayrıca burulma momenti ile de burulma gerilemesi oluşmaktadır. Görsel 8. maksimum kayma gerilmesi formülü verilmiştir.

$$\tau_{\max} = \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} + \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2}$$

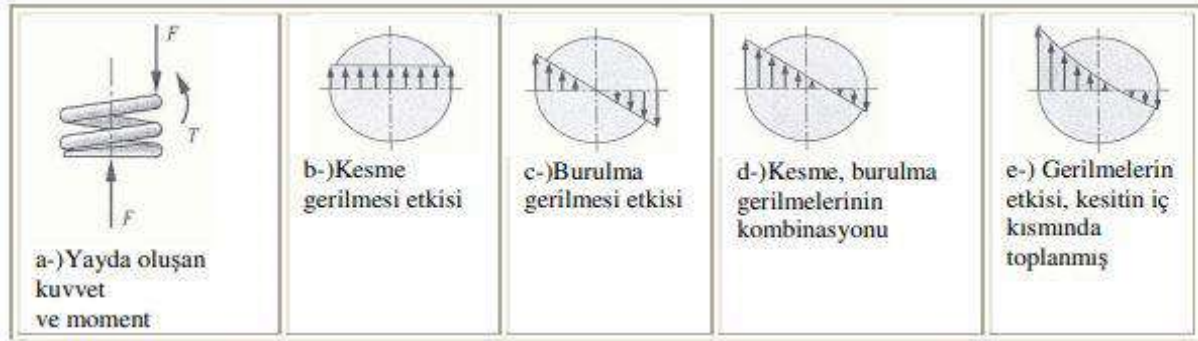
Görsel 8. Maksimum kayma gerilmesi [2].

Kesilmeye dolayı tel kesitinde meydana gelen kesilme gerilmelerinin yayılışı düzgün değildir. Bunun için K_s düzeltme faktörü kullanılır. K_s direkt kesme düzeltme faktörüdür. C yay indeksi olup yayın dış çapının tel çapına oranıdır. Eğer bir yay statik olarak yüklenirse çökme hata faktörüdür ve maksimum τ için kullanılan formül Görsel 9. da verilmiştir.

$$\tau_{\max} = K_s \cdot \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} \quad K_s = \left(1 + \frac{0,5}{C} \right)$$

Görsel 9. K_s ve maksimum kayma gerilmesi formülü [2].

Yayın eğriliği, sarımın tel kesitinin iç yüzeylerinde gerilmenin artmasına sebep olur görsel 10. da gösterilmiştir.



Görsel 10. Kesme ve burulma gerilmelerinin etkisi [2].

Wahl direk kesme gerilmelerini ve eğilme gerilmelerini içine alan bir gerilim düzeltme faktörü (K_w) tespit etmiştir. Yayın dinamik yükler altında Wahl gerilim düzeltme faktörü devreye sokulur ve kayma gerilmesinde formüle eklenir. Görsel 11. de Wahl gerilim düzeltme faktörü ve maksimum kayma gerilmesine eklenmiş formülü verilmiştir.

$$\tau_{max} = K_w \cdot \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} \quad K_w = \frac{4 \cdot C - 1}{4 \cdot C + 4} + \frac{0,615}{C}$$

Görsel 11. Wahl gerilim düzeltme faktörü ve maksimum kayma gerilmesine eklenmiş formülü [2].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Phi Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş.' de yay ve denge çubuğu üretilmektedir. Şirketin bünyesinde bulunan mühendislik departmanında yayın tasarımı ve hesaplamaları yapılmaktadır. Yay üretimi yayın tasarımı ile başlar. Yay tasarlanırken araçta yay için bırakılan pakete sığdırılmaya çalışılır. Görsel 12. Helisel yayların amortisör komponentleriyle birlikte görüntüsü görülmektedir.



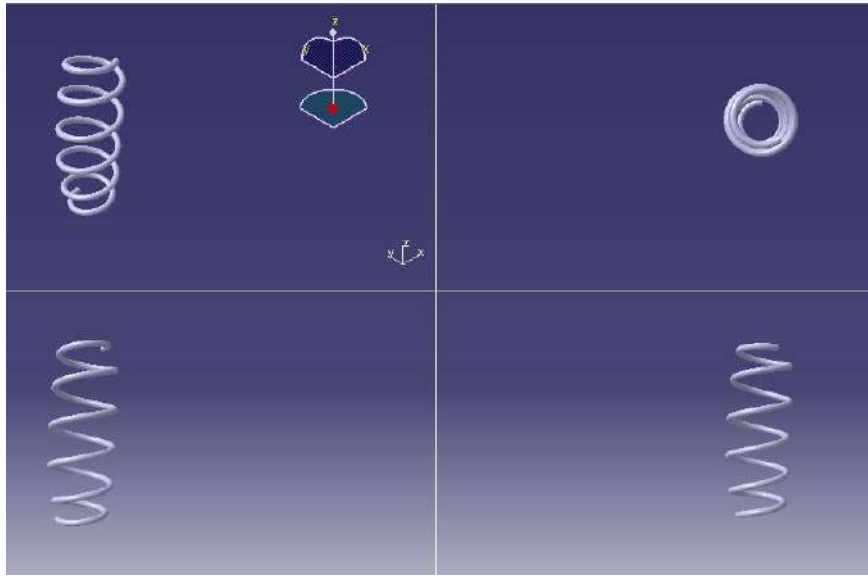
Görsel 12. Helisel yayaların amortisör komponentleriyle birlikteki görüntüsü.

Yayın taşıyacağı maksimum kuvvet hareket mesafesi, minimum boyu, maksimum boyu ve rate değerine göre helisel yay tasarlanır. Rate değeri Bunun dışında yayın oturacağı üstte tarafta bulunan Upper Seat ve alt tarafta bulunan Lower Seat kısımlarına minimum 220° tamamen temas etmelidir. Bu etkende yayın tasarımında dikkat edilecek hususlardandır. Amortisör sisteminde bulunan bu parçalar yaya direkt temas eden parçalardır. Aksi halde hesaplanan yay parametreleri farklılık gösterir. Tasarlanan yay modellenir ve analiz programına aktarılır. Analiz programından çıkan sonuçla yorulma ömrü hesaplanır. Yorulma ömrü isterleri karşılarsa üretime geçilir. İsterler karşılanmaz ise tasarımda değişiklik yapılarak optimum tasarım bulunur. Yay üretimi şekillendirme ile başlar. Soğuk ve sıcak olarak 2 tür şekillendirme vardır. Sıcak şekillendirmede perlit ferrit mikro yapısına sahip çubuk östenit fazına çıkarılır, kılavuz makarası yardımı ile malafanın üzerine sarılarak yapılır. Sıcak sarılan yay sertleştirme için yağa atılır ve ardından temperlenir. Diğer üretim yöntemi ise soğuk sarımdır. Soğuk sarımda kullanan hammadde ısıl işlem görmüştür. Temper martenzit olarak alınan hammadde soğuk sarım makinesinde uzayda 3 boyutlu olarak sarılır. Sarımda oluşan iç gerilmeleri gidermek için gerilim giderme tavlama yapılır. Ardından her iki üretim yönteminden çıkan yaylar aynı proseslere girer. Sertleştirmiş yaylar önce yay maksimum kaybedeceği yüke kadar plastik deformasyon yapılır. Ardından Shot Peening prosesine girer. Bu proseste parçanın yüzeyine çelik bilyeler püskürtülür. Yüzeye çarpan bilyeler yüzeyi temizler, yüzeyde basma gerilmeleri oluşturarak yorulma sırasında oluşan çekme gerilmelerini nötralize ederek yorulma ömrünü artırır aynı zamanda kendisinde sonra gelen boya prosesi için boyanın tutunacağı pürüzlü bir yüzey hazırlar. Boya prosesinde sonra nihai ürün elde edilmiştir. Nihai ürünün boyutsal ve

kuvvet bazlı ölçümleri yapılır. Ardından yorulma testine tabi tutulur. Yorulma testinde istenen çevrim sayısına ulaşılamazsa yay geometrisinde değişiklik yapılarak istenen değerleri karşılayan yay üretilene kadar bu işlemler devam eder.

2.1 Yay Tasarımı

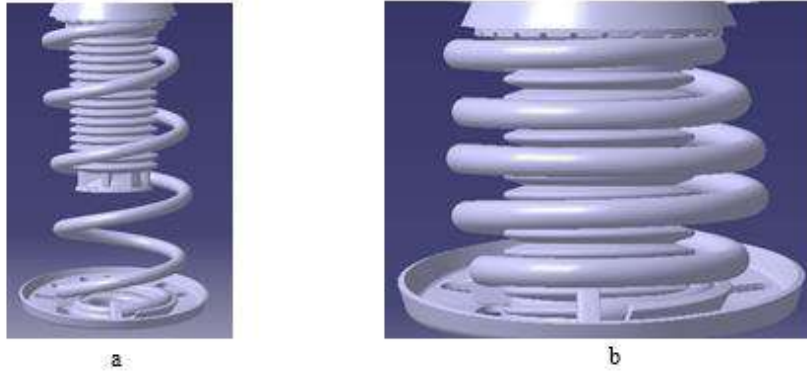
Helisel yay tasarımı yapılırken yayın çalışacağı paket göz önüne alınarak tasarlanır. Helisel yayın paketini belirleyen faktörler komşu parçalardır. Mevcut durumda tasarlanan helisel yay komşu komponentler (Upper Seat, Lower Seat, amortisör körüğü vb.) dikkate alınarak tasarlanır. Yeni tasarlanan helisel yay mevcut helisel yayın tel çapından 0,4 mm daha incedir. Mevcut rate ve yükü karşılayabilmesi için yeni tasarlanan helisel yay mevcut helisel yayın dış gövde çapından daha küçük tasarlanmıştır. Bu sebeple tel çapı daha küçük olmasına nazaran aynı rate ve yük değerini karşılayabilmektedir. Görsel 13. mevcut helisel yayın ve yeni tasarlanan helisel yayın CAD görüntüleri görülmektedir.



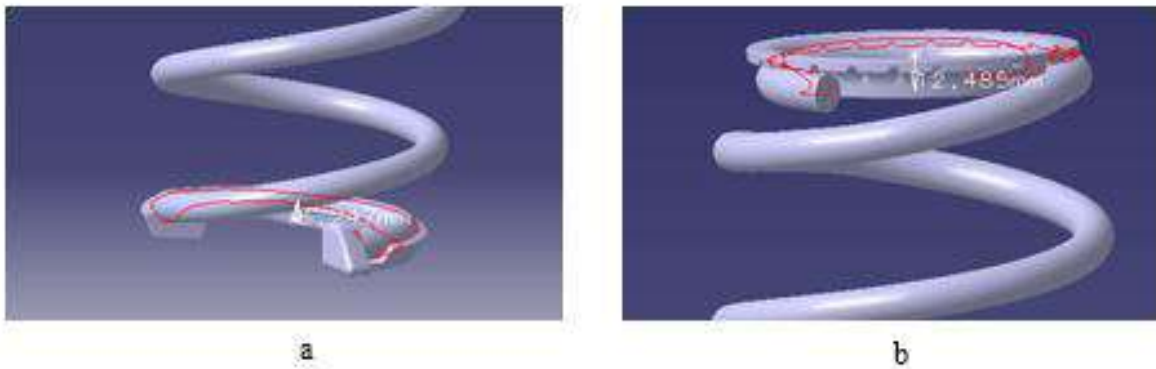
Görsel 13. Mevcut helisel yayın ve yeni tasarlanan helisel yayın CAD görüntüleri.

Yeni helisel yayın tasarımı yapılırken komşu parçalarla olan ilişkisi de geliştirilmiştir. Mevcut durumdaki helisel yayın dış gövde çapı yeni tasarlanan helisel yay nazaran daha büyük olduğu için amortisör körüğüne temas problemi yoktur. Yeni tasarlanan helisel yayda amortisör

körüğüne olan mesafe minimum 10 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Görsel 14. helisel yayın Rebound ve Jounce pozisyonlarında amortisör körüğüne olan uzaklığı görülmektedir.



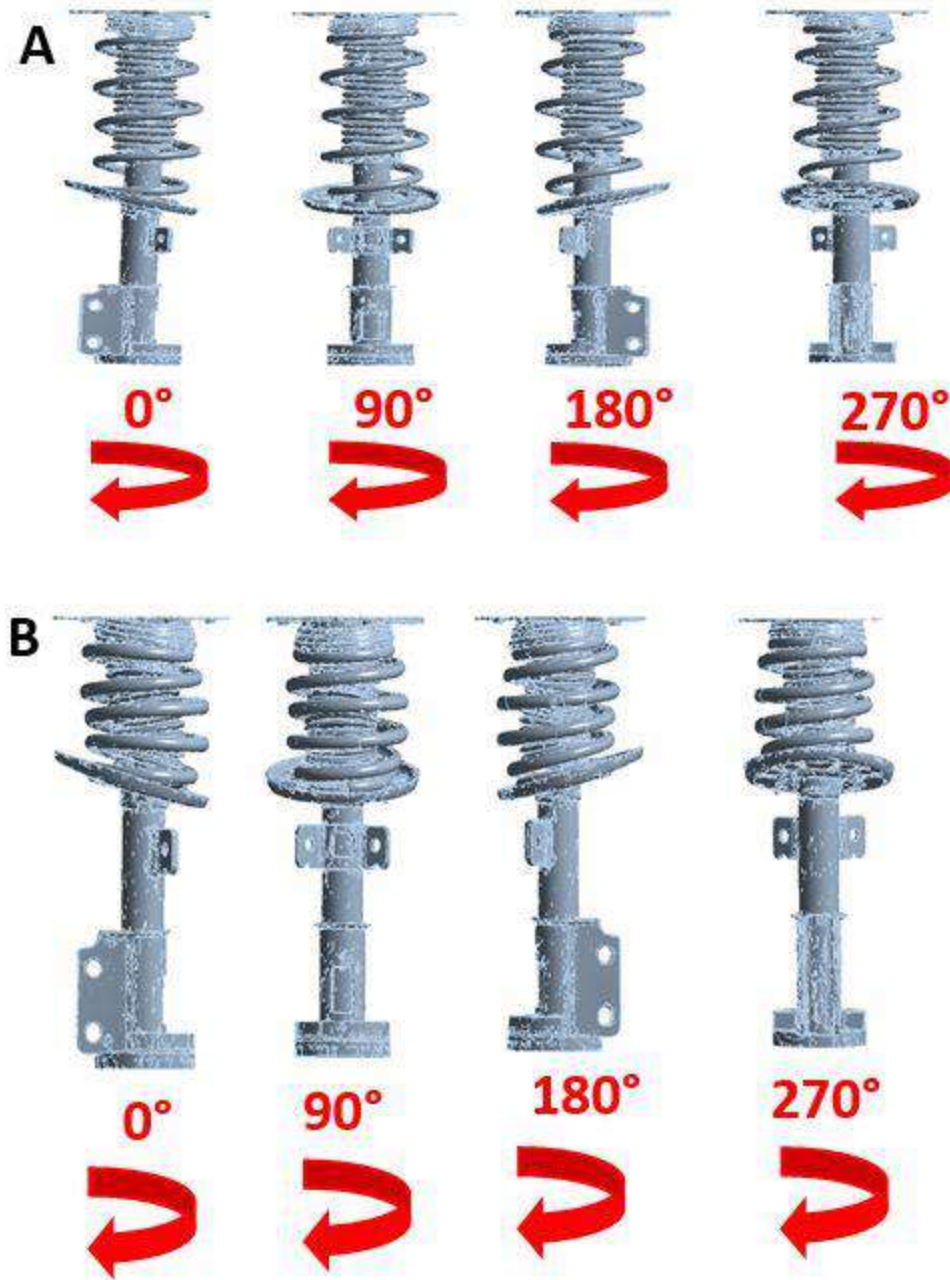
Görsel 14. a) Helisel yayın Rebound pozisyonu. b) Helisel yayın Jounce pozisyonu. Helisel yayın birlikte çalıştığı komponentlerden olan Upper Seat ve Lower Seat parçalarıyla olan ilişkisinde de iyileştirilmeler yapılmıştır. Görsel 15. tasarlanan helisel yayın Rebound pozisyonunda Upper Seat ve Lower Seat komponentleri ile ilişkili Cad dosyası. Mevcutta kullanılan helisel yay Upper Seat ile %100 temas etmemekteydi. Bunun dışında minimum 220° temas yüzeyi olacak şekilde tasarlandı. Temas yüzeyi artırılarak teoride hesaplanan parametrelerin doğru çalışmasını aynı zamanda minimum 220° temas yüzeyi korunarak helisel yayın çalışma sırasında Lower Seat ve Upper Seat' ten ayrılmaması sağlanmış oldu.



Görsel 15. Tasarlanan Helisel yayın Rebound pozisyonunda a) Upper Seat ile ilişkisi. b) Lower Seat komponenti ile ilişkisi.

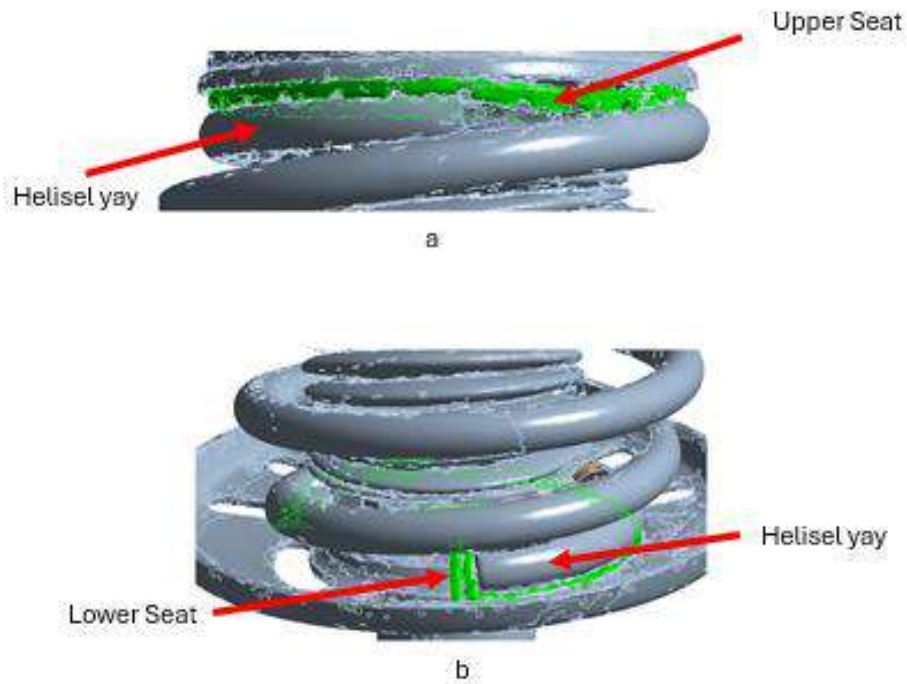
2.1.1 Sonlu Elemanlar Analizi

Katı modellenen helisel yay komşu komponentler arasındaki ilişki için sonlu elemanlar analizi simülasyonu ile uyum ve temas analizi yapılmıştır. Görsel 16. sonlu elemanlar yöntemi temas ve uyum analizinde 90° çevrilerek görseller alınmıştır. A görselinde görülen durum helisel yayın Rebound konumudur. B görselinde görülen durum ise Jounce pozisyonudur. Her iki konumda ve aralığında amortisör körüğünün helisel yay ile temas etmediği görülmüştür.



Görsel 16. Sonlu elemanlar yöntemi temas ve uyum analizi.

Sonlu elemanlar analizinde Upper Seat ve Lower Seat komponentlerinin Jounce boyundaki temas analizi yapılmıştır. Helisel yayın araç üzerindeki ulaşabileceği minimum noktaya kadar sıkıştırılmıştır. Görsel 17. Jounce pozisyonunda Upper Seat ve Lower Seat ile helisel yay arasındaki ilişki gösterilmiştir. Helisel yay ve komponentlerin arasındaki temasın kopmadığı görülmüştür.

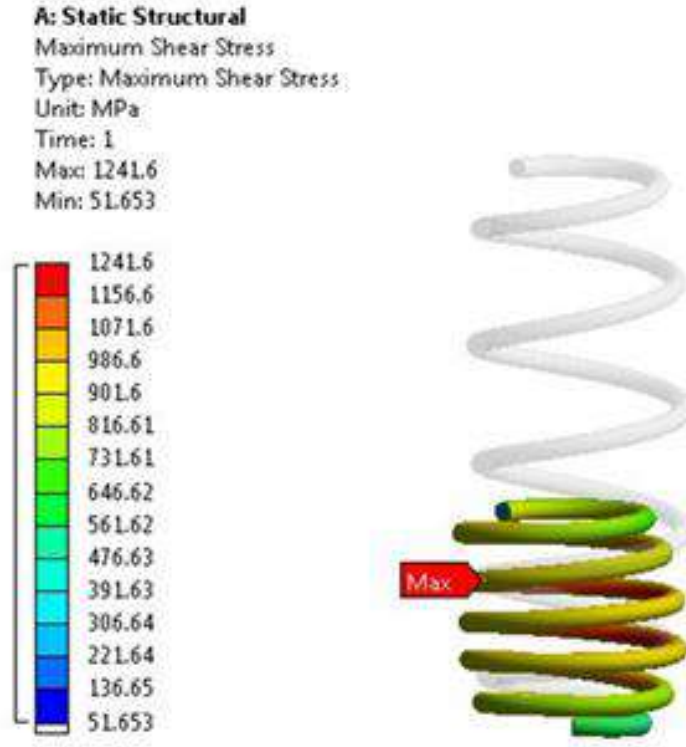


Görsel 17 Jounce pozisyonunda a) Upper Seat ile b) Lower Seat ile helisel yay arasındaki ilişki.

2.1.2 Stres Analizi

Helisel yay yapılan bir diğer analiz ise stres analizidir. Görsel 18. sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan stres analizi görülmektedir. Helisel yayda oluşacak maksimum stres akma gerilmesinin altında kalması gerekmektedir. Akma mukavemetinin üstünde bir strese maruz kalan helisel yay önce plastik şekil değiştirir. Bu durumda bütün hesaplanan ölçüler değişmiş olur. Sonrasında ise yay kırılır. Stres analizi yayın en küçük durumu olan jounce pozisyonunda

yapılır. Araç üzerinde helisel yayın en kısa olduğu hali jounce boyudur. Helisel yay bu konuma gelebilmesi için aracın maksimum yükü yüklenip kasise girmesi gerekmektedir. Ve bu durumda helisel yayda oluşabilecek maksimum stres oluşur. Analiz sonucunda maksimum stres 1241,6 MPa bulunmuştur. Parçanın akma mukavemeti 1657,5 MPa.'dır. Analiz sonucunda maksimum stres akma mukavemetinin altında olduğu görülmüş olup isterleri karşılamaktadır.

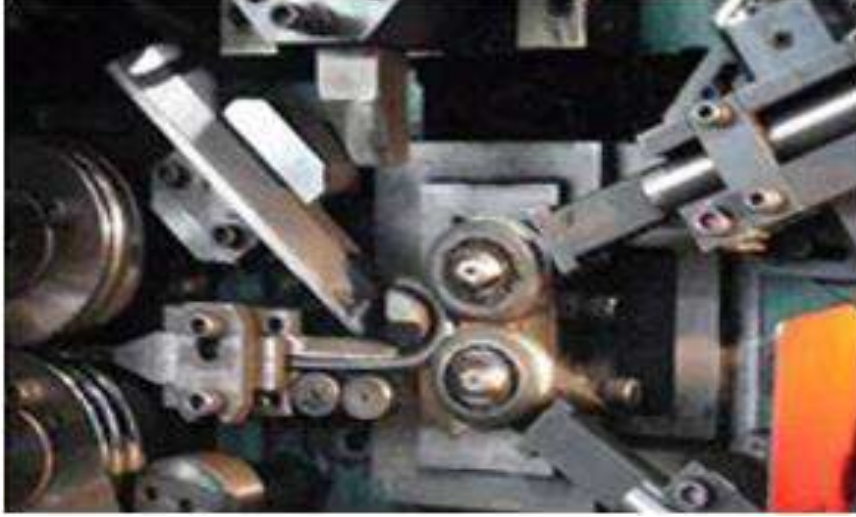


Görsel 18. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan stres analizi.

2.2 Helisel Yayın Üretimi

Tasarımı yapılan helisel yay analizlerde istenen koşulları sağlar ise üretime geçilir. Yeni tasarlanan helisel yay soğuk sarım yöntemi ile sarılmıştır. Soğuk sarım yönteminin avantajları arasında sıcak sarımda olduğu gibi malafaya ihtiyaç duymadığından üretim kolaylığı açısından daha makul kalmaktadır. Sıcak sarım prosesinde östenite alınmış çubuk makara yarımıyla malafanın üzerinde sarılmaktadır. Soğuk sarımda ise istenen yay ısı işlem görmeden uzayda 3 boyutlu olarak sarılmaktadır. Görsel 19. soğuk sarım makinesi görülmektedir. Ayrı soğuk

sarımda kullanılan hammadde ısıtılma işlemi gördüğü için sarımdan sonra sertleştirme prosesine gerek yoktur. Bunların dışında sıcak şekillendirme sonrası sertleştirme işlemi sonrasında helisel yayın geometrisi değişmektedir. Bu nedenlerle soğuk sarım yöntemi seçilmiştir.



Görsel 19. Soğuk sarım makinesi.

Helisel yaya geometrisi kazandırıldıktan sonra sarım sırasında oluşan iç gerilmeleri gidermek için gerilim giderme tavlama uygulanmaktadır. Sonraki proses bloklama prosesidir. Bu süreçte yay sıkıştırılarak nihai boyutları kazandırılır. Aynı zamanda plastik deformasyona maruz bırakıldığı için sertlikte biraz artış gözlemlenir. Ardından kumlama ve boya prosesleri gelir. Kumlama işlemi yüzeyde oluşan oksit tabakasından ve kirlerden temizlemek için, boyanın tutunacağı pürüzlü bir yüzey oluşturmak için ve yüzeyde basma gerilmeleri oluşturularak yorulma ömrünü arttırmak hedeflenir. Son olarak boya işlemi gelir. Helisel yayın üzerinde ortalama 200 µm boya kalınlığı olacak şekilde boyanmış ve nihai ürün haline gelmiştir. Görsel 20. boya kalınlık ölçümü görülmektedir.



Görsel 20. Boya kalınlık ölçümü görülmektedir.

Üretim aşamasından sonra yayın ölçümleri yapılmıştır. Mevcut durumda kullanılan helisel yayın tel çapı 14.20 mm'dir, boyandıktan sonra nihai ürünün tel çapı 14.60 mm ölçülmüştür. Yeni tasarlanan helisel yayın tel çapı 13.80 mm'dir, boyandıktan sonra nihai ürünün tel çapı 14.20 mm ölçülmüştür. Görsel 21. helisel yayların tel çap ölçüleri görülmektedir.



Görsel 21. Helisel yayların tel çap ölçüleri.

Kalınlık ölçümlerinden sonra yeni tasarlanmış olan helisel yayın rate ve yük ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Rate değeri helisel yayın 1 mm sıkışması için gerekli kuvveti verir. Görsel 22. rate ölçüm görüntüleri görülmektedir.



Görsel 22. Rate ölçüm görüntüleri. a) Rebound b) Jounce pozisyonu.

Rate değeri helisel yayın konfor parametresi olarak kullanılır. Rate değerinin yüksek olması helisel yayın daha sert karakterde olacağını, düşük olması ise daha yumuşak karakterde olduğunu gösterir. Yük değeri ise taşıyabileceği maksimum kuvveti gösterir. Yeni tasarlanan helisel yay mevcut durumdaki yayın rate ve yük değerleri korunarak tasarlanmıştır. Görsel 23. yeni tasarlanan helisel yayın rate ve yük değeri görülmektedir. 1st değeri ve 3rd değeri rate değerini ölçmek için kullanılır. 2nd değeri yük ölçümü için kullanılır. Rate değeri ise en altta görülmektedir. Rate değeri 33.2 yük değeri ise 5822 ölçülmüştür.

Measurement result [81]

	Length	Load
1st	322.00	4991
2nd	297.00	5822
3rd	272.00	6651
Sp.rate		33.2

Görsel 23. Yeni tasarlanan helisel yayın rate ve yük değeri.

Mevcutta kullanılan helisel yayın ve yeni tasarlanan helisel yayın ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Görsel 24. ağırlık ölçümleri görülmektedir. Mevcut durumda kullanılan helisel yayın ağırlığı 2851 g gelmektedir. Yeni tasarlanan helisel yayın ağırlığı ise 2635 g gelmektedir. Bir helisel yaydan 216 g hafifleme elde edilmiştir. Bir araçta 4 adet helisel yay olduğu düşünülürse araç başına toplam 864 g hafiflik elde edilmiş olur.



a

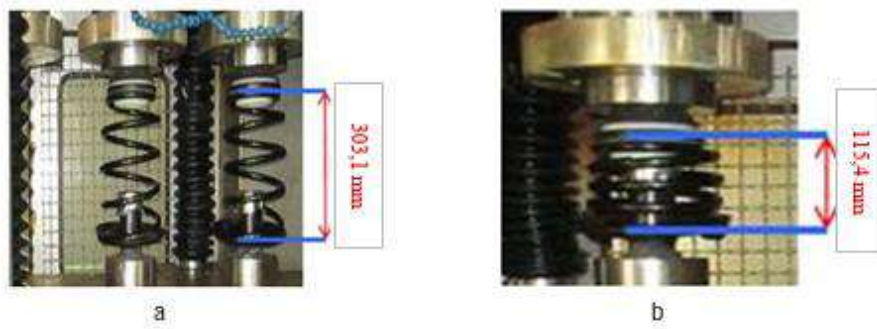


b

Görsel 24. Ağırlık ölçümleri. a) Mevcutta kullanılan yay. b) Yeni tasarlanan yay.

2.3 Yorma Testi

Otomobil çukur ve tümseklere girdikçe araçtaki helisel yaylar elastik şekil değiştirerek enerjiyi sönümler. Tasarlanan helisel yayda oluşan maksimum stres akma mukavemetinin altında olsa bile kırılma ihtimaliyle karşı karşıyadır. Plastik deformasyona uğramayan helisel yay elastik bölgede yüzeyinde mikro plastik deformasyona uğrayarak yüzeyinde mikro kayma bölgeleri oluşur. Bu bölgeler çentik etkisi oluşturarak bölgesel stresi artmasına neden olur. Çatlak çekirdeklenmesiyle beraber çatlak ilerlemeye başlar ve parça kırılır. Bu duruma yorulma ömrü denir. Yorulma testleri akma mukavemetinin altında çevrimli yükler uygulanarak yapılır. Çevrim sayısı parçanın yorulma ömrünü belirler. Nihai ürün haline getirilmiş helisel yaylar son olarak yorulma testine tabi olurlar. Görsel 25. yorulma testi yapılan helisel yayların görüntüsü görülmektedir.



Görsel 25. Yorulma testi yapılan helisel yayların görüntüsü görülmektedir. a) Rebound pozisyonu b) Jounce pozisyonu.

Helisel yayların yorma testi yayları belli bir boya sıkıştırıp ardından gevşeterek yapılır. Her bir sıkışıp gevşemeye bir çevrim denir. Yeni tasarlanan helisel yaylar 303.1 mm'den 115.4 mm sıkıştırılıp gevşetilmiştir. Stroke değeri 187,7 mm'dir. Görsel 26. test parametreleri verilmiştir.

TEST CONDITIONS	
Stroke (mm)	187,7
Stroke Lengths (mm)	$L_{max} = 303,1$ $L_{min} = 115,4$

Görsel 26. Test parametreleri.

Toplam 8 adet helisel yay testine tabi tutulmuştur. Görsel 27. Test sonuçları görülmektedir. Test sonucunda bütün yayların 700.000 çevrim sonunda kırılmadığı görülmüştür. Test içeriğinde teste başlamadan önce helisel yayın yük değeri ölçülür. Test bitiminde de helisel yayın yük değeri ölçülüp yük değerinde ne kadar kayıp olduğu hesaplanır. Hesaplamalar sonucunda en fazla yük düşüşü %1,65 olup yük değeri 96 N' dur. %6' ya kadar olan yük düşüşleri kabul edilir. Mevcutta kullanılan helisel yayın minimum 400.000 çevrimde sağlam kalması testi başarılı kabul etmeye yeterlidir. Yeni tasarlanan helisel yayların 700.000 çevrimde sağlam kalması ve maksimum %1,65'lik oranla yük değerinde azalma ile yorma testinden geçmiştir.

RESULTS:								Continuou s from 400K
SAMPLE NO	LOAD BEFORE TEST [N]	LOAD AFTER 400K [N]	LOAD LOSE [N]	LOAD LOSE %	MM loss at Pn	Cycles	Results	
1	5877.00	5798.00	89.00	1.51%	2.67	400 000	NO BREAKAGE	700000
2	5900.00	5826.00	74.00	1.25%	2.22	400 000	NO BREAKAGE	700000
3	5898.00	5824.00	74.00	1.25%	2.22	400 000	NO BREAKAGE	700000
4	5888.00	5821.00	67.00	1.14%	2.01	400 000	NO BREAKAGE	700000
5	5824.00	5749.00	75.00	1.29%	2.25	400 000	NO BREAKAGE	NO BREAKAGE
6	5835.00	5760.00	75.00	1.29%	2.25	400 000	NO BREAKAGE	
7	5811.00	5715.00	96.00	1.65%	2.88	400 000	NO BREAKAGE	
8	5858.00	5772.00	86.00	1.47%	2.58	400 000	NO BREAKAGE	

Görsel 27. Test sonuçları.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

- Yeni tasarlanan helisel yay mevcutta kullanılan helisel yay nazaran helisel yayın komşu komponentleriyle daha uyumlu çalışması sağlanmıştır.
- Helisel yayın amortisör sisteminde temas ettiği Upper seat ve Lower Seat parçalarına uyumu iyileştirilmiştir.
- Amortisör sisteminde helisel yayın iç kısmında bulunan amortisör körüğü ile minimum düzeyde mesafe bırakılarak mevcutta kullanılan helisel yayın rate ve yük değerleri karşılanmıştır.
- Yeni tasarlanan helisel yay yorma testinden başarı ile geçmiştir.
- Bütün parametreleri karşılayan ve testlerden başarı ile geçen yeni tasarlanmış helisel yay 216 gram hafifletilmiş olup araçta toplamda 864 gramlık hafiflemeye ulaşılmıştır.

KAYNAKÇA

1. Megep, *Süspansiyon Sistemleri*, Ankara, 2005.
2. Gümüş, F., *Bilgisayar Destekli Helisel Yay Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2006.

INVESTIGATION OF AISI 52100 MACHINABILITY IN DIFFERENT HARDNESSES AND CUTTING CONDITIONS

Assoc. Prof. Dr. Abidin ŞAHİNOĞLU

Manisa Celal Bayar University, Technical Sciences Vocational School,

Department of Machinery and Metal Technologies

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0040-442X>

abidinsahinoglu@gmail.com

Abstract

AISI 52100 Steel material is widely used in industry especially due to its hardenability and wear resistance. However, the machinability of these materials is more difficult. In recent years, many important studies have been carried out on the machinability of this material. AISI 52100 Steels can have different hardness values. In this experimental study, the machinability of AISI 52100 Steel material with two different hardness values was compared. It was aimed to investigate the effects of different cutting parameters on vibration and power consumption. Thus, the results obtained at 3 different cutting depths, 3 different cutting speeds and 3 different feed values were compared. Since the breaking strength increased with increasing hardness value, more energy was needed to break the chip. Since breaking the chip became more difficult with increasing hardness value, vibration increased. In addition, since the cutting force increased with increasing feed value and cutting depth, power consumption and vibration value increased. There is a direct relationship between the hardness of the workpiece, increasing feed rate and cutting depth, and vibration and power consumption. As a result, lower feed and cutting depths can be preferred despite the increased hardness value in order not to increase the vibration value excessively. In addition, it was observed that there was a positive correlation between vibration and power consumption for AISI 52100 Steel material.

Keywords: hard turning, vibration, AISI 52100, Cutting Power

INTRODUCTION

Hard turning has more advantages than cylindrical grinding[1]. High material removal and high surface quality are obtained at the same time [2].Energy consumption is lower in hard turning process[3].

AISI 52100 It is widely used in places where high yield strength [4] [5]wear resistance are required, especially in bearing industry [4][6][7]. AISI 52100 Steels have started to be used more and more in heavy industry[8]and automobile industry [2]. AISI 52100 Steels are widely used in industry with different hardness values [4].Therefore, in this experimental study, the machinability of AISI 52100 steel at different hardnesses was investigated. In addition, white layer formation is an important problem in the machining of these steels[1].

Energy consumption has become an important problem with increasing population and industrialization. Energy resources are depleted more and more every day. Rapid decrease in energy resources causes many ecological and economic problems [9].Increasing energy consumption has made it necessary to use more fossil fuels to produce more energy. Harmful gases released as a result of increasing fossil fuel consumption accumulate in the atmosphere. These accumulated gases make it difficult for sunlight to separate from the atmosphere. These gases held in the atmosphere create more greenhouse gas effects. Therefore, examining power consumption is important[5][10].

Vibration is an important subject of study in hard turning [2]. Vibration increases as the material hardness increases. Increased vibration causes tool wear and deterioration of surface quality. Increased tool wear causes increased processing costs. In addition, tool wear causes energy consumption to increase. Increased vibration causes increased noise level. It causes tool wear and increased temperature in the workpiece. Therefore, studies to reduce vibration are of great importance [3]. In this experimental study, suitable cutting conditions were examined to reduce vibration.

When the studies conducted are examined, the machinability study of AISI 52100 Steel with different hardness is of great importance. Investigation of vibration and power consumption occurring in these steels at different hardnesses and under different processing conditions has been an important research topic.

MATERIAL AND METHOD

In this experimental study, AISI 52100 Steel material with two different hardness values was processed under different cooling conditions and 3 different feed, cutting speed and cutting depth. A 250 mm long material and a 60 mm diameter workpiece were processed between the chuck and the center.

Vibration and instantaneous power consumption values were measured during each process. Variance and regression analysis were performed with the Minitap program.

Vibration and energy consumption values were measured with devices belonging to PCE. Power consumption was obtained by multiplying the current value with the voltage value.

High quality DCMT 11T308 sintered carbide was used due to the high hardness of the workpiece. Machining experiments were performed in accordance with turning standards. The cutting tool catalog was examined while determining the cutting parameters. Turning experiments were performed on a rigid CNC machine. 0.2 mm of chips were removed from the surface of the workpiece before processing. The cutting tool was connected as short as possible to minimize the runout.

The devices used were calibrated. The average of three different measurements was taken for each experiment. Thus, instantaneous fluctuations in vibration and current values were prevented from affecting the measurement result.

EXPERIMENTAL RESULTS

The power consumption equation depending on the cutting conditions was created. The power consumption value can be estimated with 97.28% accuracy.

$$\begin{aligned} \text{Pow.Con. (W)} = & 3819 + 76,4 \text{ Hardness} - 1115 \text{ CoolC.} + 8924 a \text{ (mm)} + 31,3 v \text{ (m/min)} - 8431 f \text{ (mm/rev)} \\ & + 43,0 \text{ CoolC.} * \text{CoolC.} - 300 a \text{ (mm)} * a \text{ (mm)} - 0,0261 v \text{ (m/min)} * v \text{ (m/min)} + 29648 f \text{ (mm/rev)} * f \text{ (mm/rev)} \\ & + 17,24 \text{ Hardness} * \text{CoolC.} - 102,3 \text{ Hardness} * a \text{ (mm)} - 0,437 \text{ Hardness} * v \text{ (m/min)} + 157 \text{ Hardness} * f \text{ (mm/rev)} \\ & - 819 \text{ CoolC.} * a \text{ (mm)} + 1,325 \text{ CoolC.} * v \text{ (m/min)} - 288 \text{ CoolC.} * f \text{ (mm/rev)} + 9,52 a \text{ (mm)} * v \text{ (m/min)} \\ & - 6848 a \text{ (mm)} * f \text{ (mm/rev)} + 4,3 v \text{ (m/min)} * f \text{ (mm/rev)} \end{aligned}$$

As seen in Figure 1, the regression equation is feed rate and cutting speed. These are followed by the depth of cut. Values below 2.12 are not important in the regression equation.

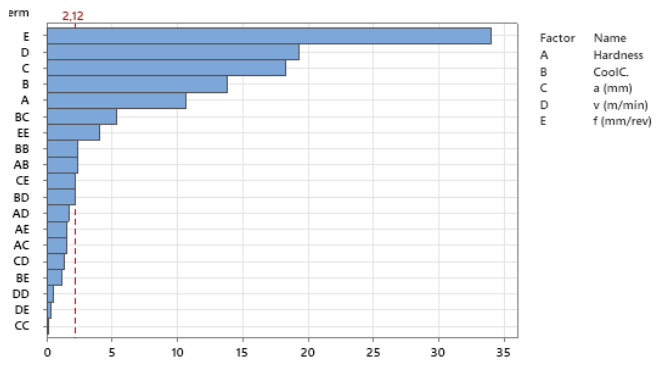


Figure 1. Effective parameters in the power consumption regression model

Measuring tool vibration is difficult. Moreover, it requires expensive equipment. Therefore, a mathematical model of tool vibration has been developed. According to this model, tool vibration can be predicted with 97.33% accuracy.

$$\begin{aligned} \text{Vib.Tool(m/s}^2\text{)} = & -3,56 + 0,1460 \text{ Hardness} + 0,730 \text{ CoolC.} - 0,73 \text{ a (mm)} - 0,0154 \text{ v (m/min)} - 5,9 \text{ f (mm/rev)} \\ & + 0,0229 \text{ CoolC.} * \text{CoolC.} + 8,08 \text{ a (mm)} * \text{a (mm)} + 0,000110 \text{ v (m/min)} * \text{v (m/min)} + 2,8 \text{ f (mm/rev)} * \text{f (mm/rev)} \\ & - 0,0222 \text{ Hardness} * \text{CoolC.} + 0,084 \text{ Hardness} * \text{a (mm)} - 0,000507 \text{ Hardness} * \text{v (m/min)} + 0,471 \text{ Hardness} * \\ & \text{f (mm/rev)} - 0,525 \text{ CoolC.} * \text{a (mm)} + 0,00302 \text{ CoolC.} * \text{v (m/min)} - 0,712 \text{ CoolC.} * \text{f (mm/rev)} + 0,0096 \text{ a (mm)} \\ & * \text{v (m/min)} - 9,14 \text{ a (mm)} * \text{f (mm/rev)} - 0,0009 \text{ v (m/min)} * \text{f (mm/rev)} \end{aligned}$$

The most effective parameter in the formation of the regression equation is the feed rate. The feed rate is not followed by the depth of cut. Factors below the value of 2.12 are ineffective. Figure 2 shows the effect of cutting conditions or cutting parameters on tool vibration. Similar results have been seen in other studies [3].

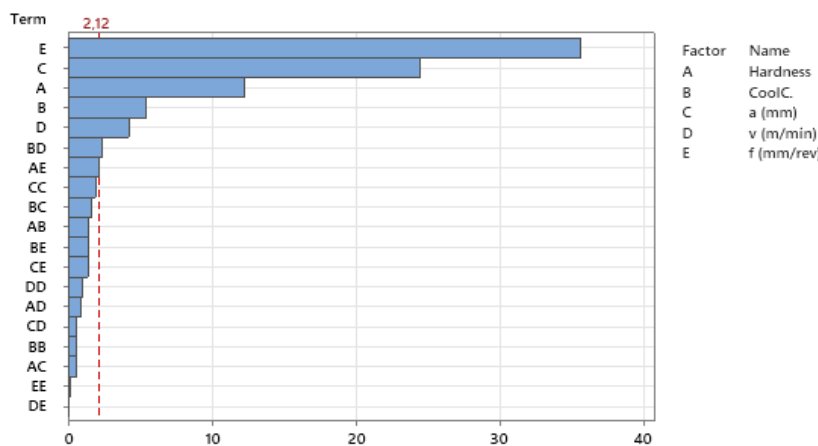


Figure 2. The most effective parameters in creating tool vibration

Figure 3 shows the relationship between power consumption and vibration. As power consumption increases, cutting forces increase. Therefore, vibration increases with increasing cutting force. There is a strong correlation between power consumption and vibration. Similar results have been seen in other studies [3].

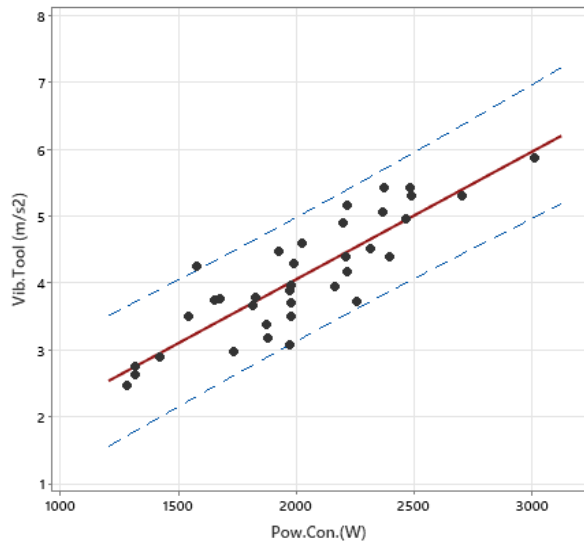


Figure 3 Relationship between power consumption and vibration

As seen in Figure 4, the vibration value increases with increasing feed rate and cutting depth. In addition, when the hardness value of the steel increases, the strength increases because the yield and rupture strength increases. As the strength of the steel increases, the vibration generated during chip removal in the steel increases. Other researchers have found similar results in 52100 steel [2].

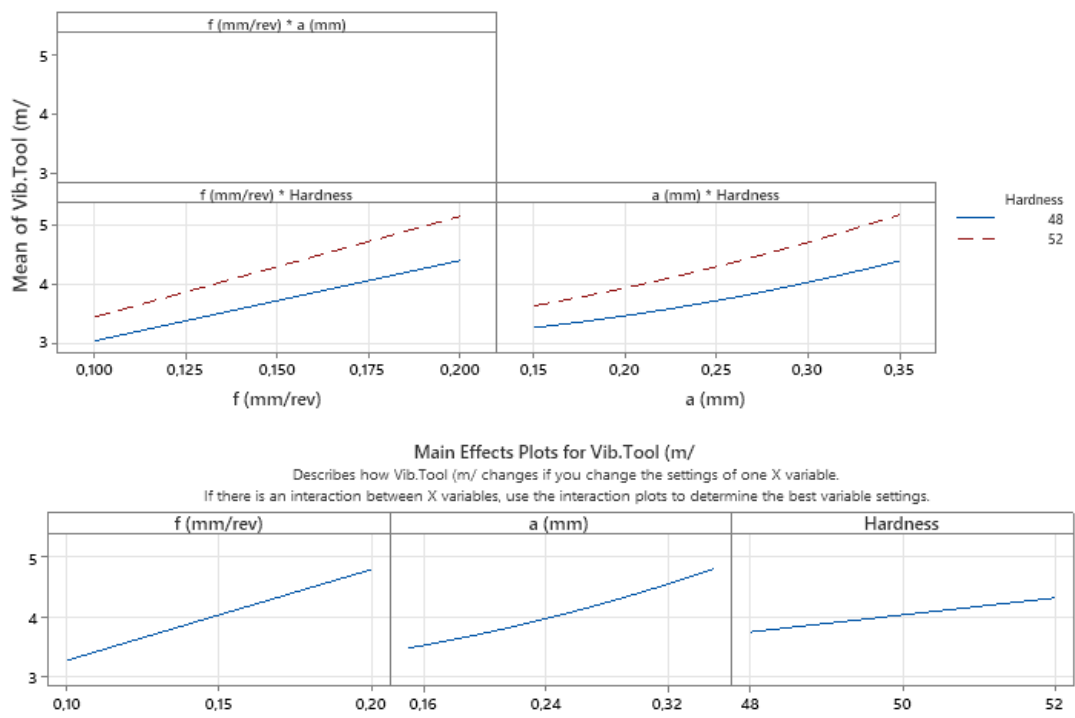


Figure 4. Effect of hardness and cutting parameters on tool vibration

The mathematical equation of tool vibration is shown in Figure 5 and Figure 6. This equation depends on feed rate, depth of cut and hardness. The most effective parameter in the formation of the regression equation is the feed rate.

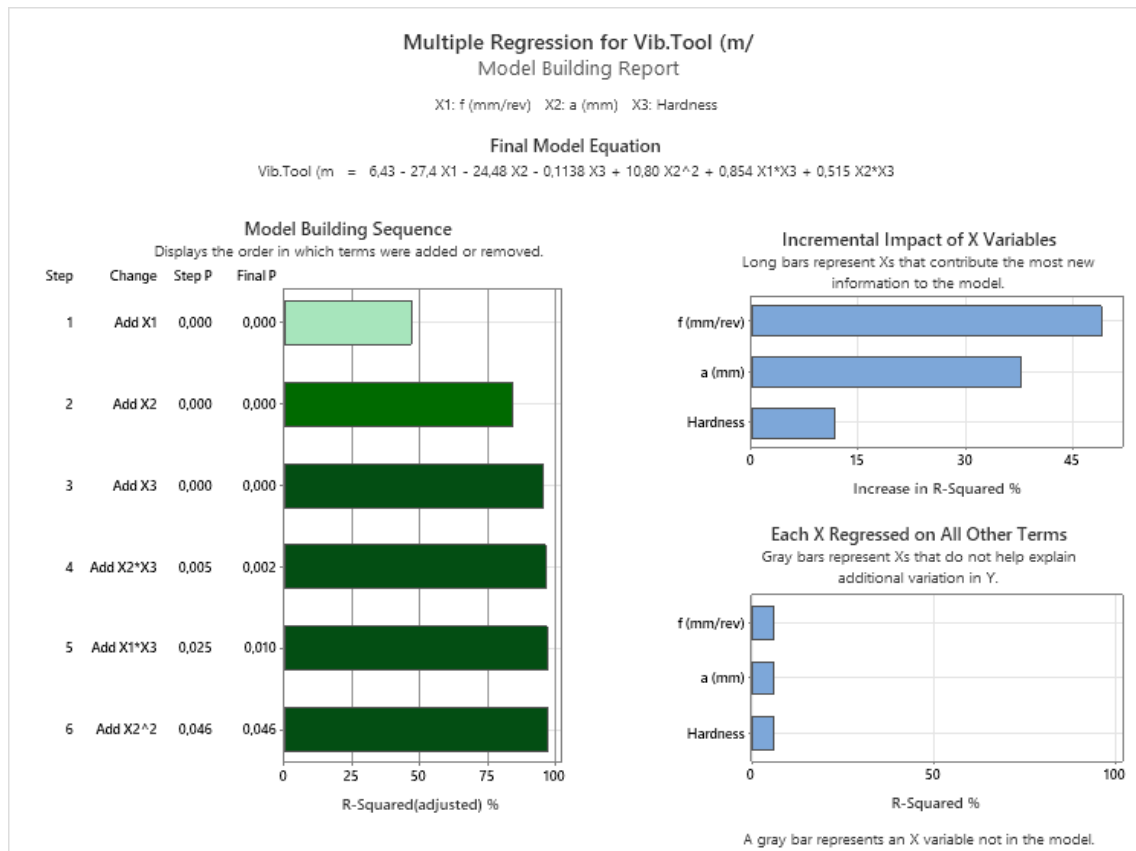


Figure 5. Effect of cutting conditions on power consumption

Power consumption increases with increasing feed rate, depth of cut and workpiece hardness value. Cutting force increases with increasing chip amount. This situation increases power consumption. With increasing hardness value, the breaking strength of the material increases. Therefore, power consumption or current value drawn by the machine tool increases. Similar results were also seen in the machining of other materials such as CuZn39Pb3 [11], AISI 1040[12], AISI S1[13] steels.

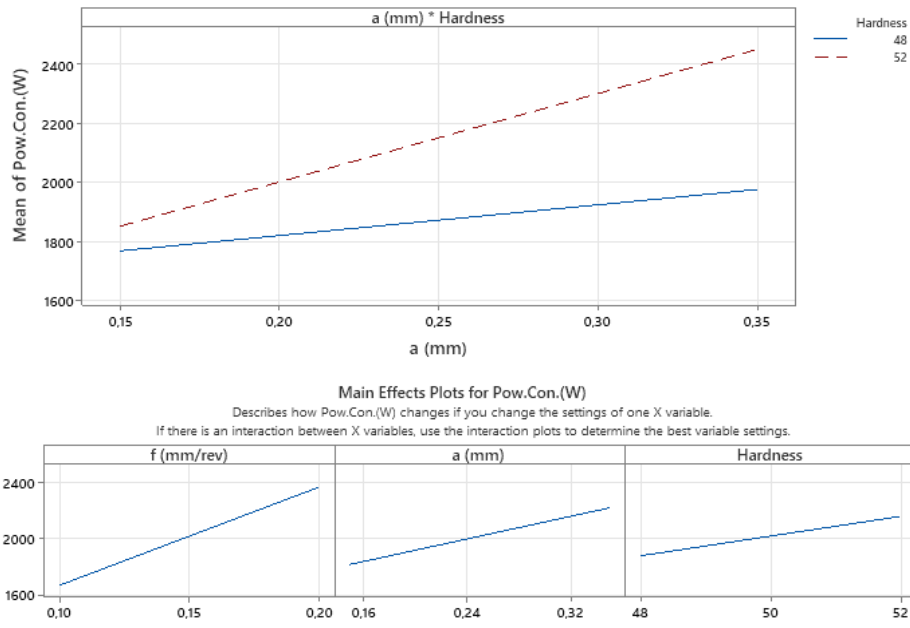


Figure 6. Effect of cutting conditions on power consumption

Many parameters are effective on power consumption value. However, the most effective parameters are feed rate, depth of cut and hardness. The regression equation depending on these three values is shown in Figure 7. The mathematical equation of power consumption gives the experimental results.

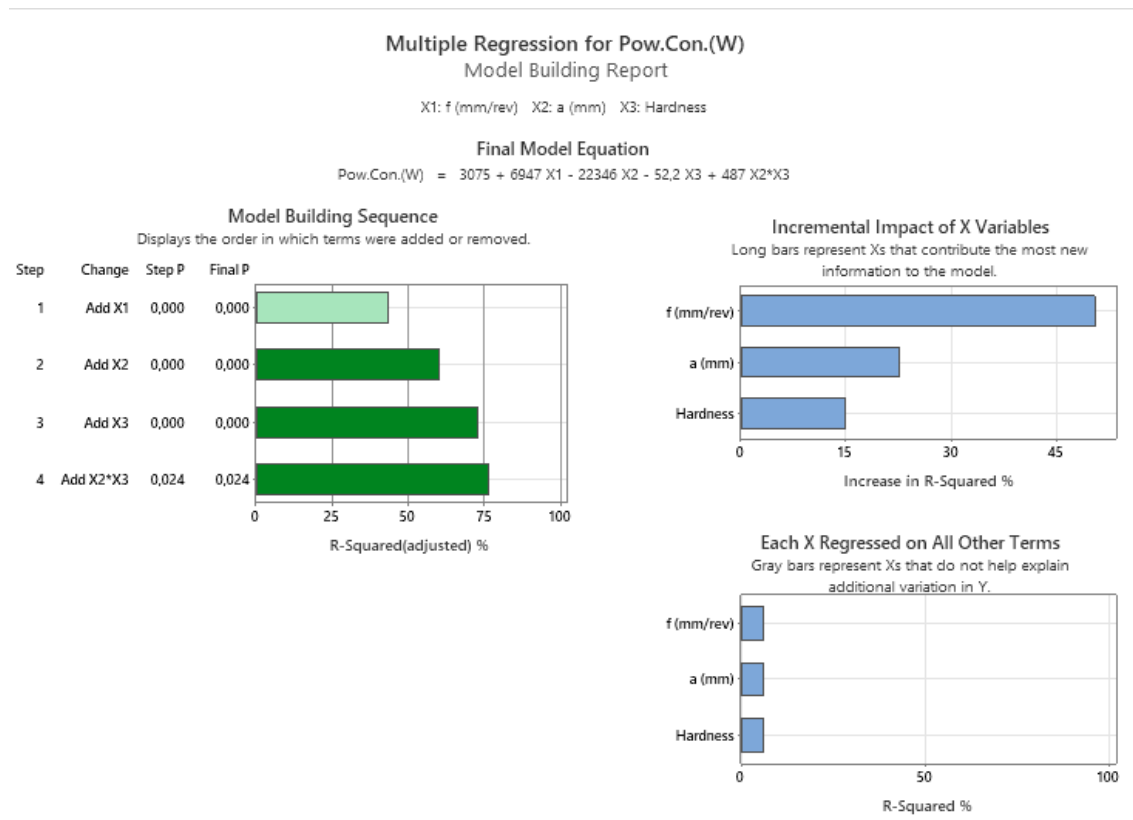


Figure 6. Effect of cutting conditions on regression power consumption

As seen in Figure 8, power consumption increased with increasing feed rate and depth of cut. Power consumption increases slightly with increasing hardness value. No significant change was observed with the cooling system.

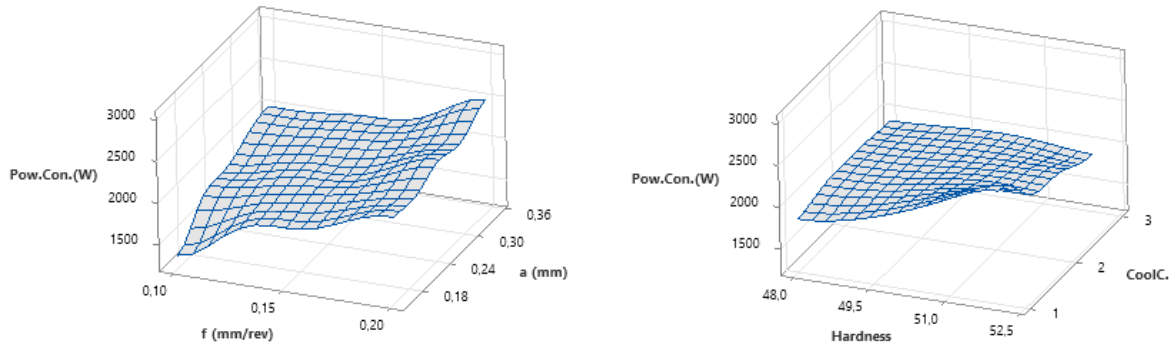


Figure 8. Relationship between power consumption and cutting conditions

Cutting conditions have a significant effect on the vibration value. Figure 9. The relationship between vibration and cutting conditions is seen. The vibration value increases with increasing workpiece hardness value, feed rate and cutting depth.

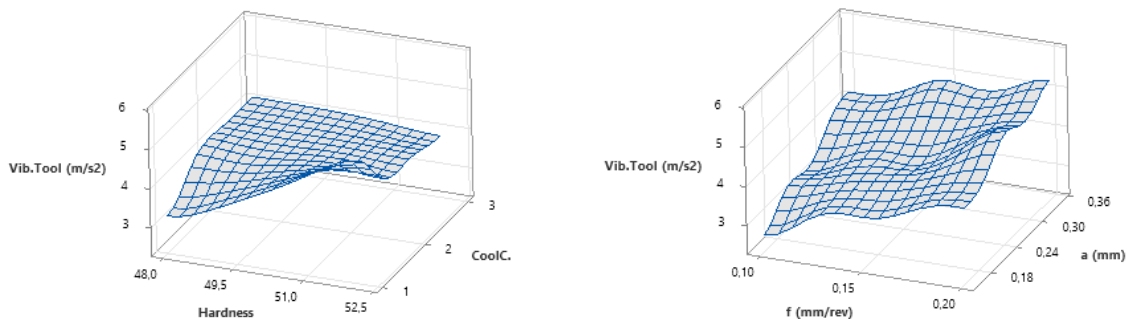


Figure 9. Relationship between vibration and cutting conditions

Figure 10 shows the effect of power consumption and feed rate on tool vibration. It is seen that there is a linear relationship between increasing power consumption and tool vibration. Similar results have been seen in other studies [14].

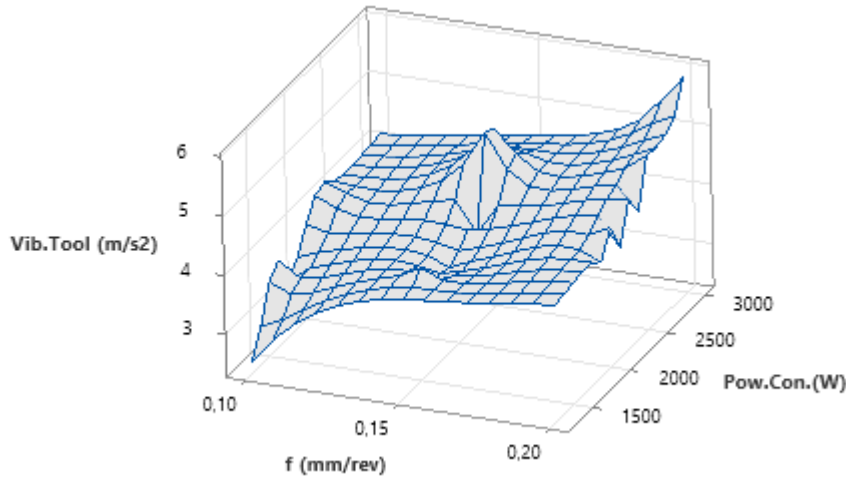


Figure 10. Relation between vibration value and power consumption and feed rate

Similar relationship between vibration and power consumption has been stated in other studies [3].

CONCLUSION

In this experimental study, the machinability of AISI 52100 steel under different hardness and different cooling conditions was investigated. In summary

- 1- Vibration value increased with increasing feed rate, depth of cut, workpiece hardness. Vibration value increases as chip amount and chip breakage strength increase. The most effective parameter on vibration value is feed rate.
- 2- Power consumption increases with increasing feed rate, depth of cut and hardness. Since cutting force increases with increasing parameters, instantaneous power consumption also increases. The most effective parameters on power consumption are feed rate and depth of cut.
- 3- There is a positive correlation between power consumption and vibration.
- 4- A mathematical model of power consumption and vibration value was created with high accuracy from the regression equations obtained.
- 5- Cooling conditions provided easier chip flow with cooling liquid. This has resulted in a slight reduction in power consumption and vibration values.

REFERENCES

1. Zemzemi F, Khochtali H, Salem W Ben, et al (2021) Analytical multi-physics model of microstructure changes in hard turning of AISI 52100 steel: prediction of thicknesses of white and dark layers. *Int J Adv Manuf Technol* 112:2755–2771. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06521-1>
2. Ambhore N, Kamble D, Agrawal D (2022) Experimental Investigation of Induced Tool Vibration in Turning of Hardened AISI52100 Steel. *J Vib Eng Technol*. <https://doi.org/10.1007/s42417-022-00473-4>
3. Şahinoğlu A (2022) Investigation of machinability properties of AISI H11 tool steel for sustainable manufacturing. *Proc Inst Mech Eng Part E J Process Mech Eng* 236:2717–2728. <https://doi.org/10.1177/09544089221122004>
4. Sivaiah P, Bodicherla U (2020) Effect of Surface Texture Tools and Minimum Quantity Lubrication (MQL) on tool Wear and Surface Roughness in CNC Turning of AISI 52100 Steel. *J Inst Eng Ser C* 101:85–95. <https://doi.org/10.1007/s40032-019-00512-2>
5. de Moraes DL, Garcia MV, Lopes JC, et al (2019) Performance of SAE 52100 steel grinding using MQL technique with pure and diluted oil. *Int J Adv Manuf Technol* 105:4211–4223. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04582-5>
6. Rajarajan S, Ramesh Kannan C, Dennison MS (2020) A comparative study on the machining characteristics on turning AISI 52100 alloy steel in dry and microlubrication condition. *Aust J Mech Eng* 20:360–371. <https://doi.org/10.1080/14484846.2019.1710019>
7. Sivaiah P, Guru Prasad M, Singh M M, Uma B (2020) Machinability evaluation during machining of AISI 52100 steel with textured tools under Minimum Quantity Lubrication– A comparative study. *Mater Manuf Process* 35:1761–1768. <https://doi.org/10.1080/10426914.2020.1802034>
8. Kim DM, Kim HI, Park HW (2021) Tool wear, economic costs, and CO2 emissions analysis in cryogenic assisted hard-turning process of AISI 52100 steel. *Sustain Mater Technol* 30:e00349. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00349>
9. Karaaslan F, Şahinoğlu A (2020) Determination of Ideal Cutting Conditions for Maximum Surface Quality and Minimum Power Consumption During Hard Turning of AISI 4140 Steel Using TOPSIS Method Based on Fuzzy Distance. *Arab J Sci Eng* 45:9145–9157. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04635-y>
10. Şahinoğlu A, Rafighi M, Kumar R (2022) An investigation on cutting sound effect on power consumption and surface roughness in CBN tool-assisted hard turning. *Proc Inst Mech Eng Part E J Process Mech Eng* 236:1096–1108. <https://doi.org/10.1177/09544089211058021>
11. Şahinoğlu A, Güllü A (2019) Investigation of the Relationship Between Current, Sound Intensity, Vibration and Surface Roughness in Machining of CuZn39Pb3 Material on Lathe Machine. *J Polytech* 0900:615–624. <https://doi.org/10.2339/politeknik.426106>

12. Şahinoğlu A, Rafighi M (2020) Optimization of cutting parameters with respect to roughness for machining of hardened AISI 1040 steel. Mater Test 62:85–95. <https://doi.org/10.3139/120.111458>
13. Şahinoglu A, Rafighi M (2021) Machinability of hardened AISI S1 cold work tool steel using cubic boron nitride. Sci Iran 28:2655–2670. <https://doi.org/10.24200/sci.2021.55772.4398>
14. Şahinoğlu A, Karabulut Ş, Güllü A (2017) Study on spindle vibration and surface finish in turning of al 7075

TERS PROBLEMLERİN PINN YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜLMESİ: ÖRNEK BİR UYGULAMA

Dr. Öğr. Üyesi Murat BALCI

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
muratbalci@subu.edu.tr - 0000-0002-3658-3223

Doç. Dr. Recep KILIÇ

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
recepkilic@subu.edu.tr- 0000-0003-1580-1997

ÖZET

Ters problem yaklaşımı, bir sistemin gözlemlenebilir çıktılarında yola çıkarak bilinmeyen girdilerini tahmin etmeyi amaçlayan bir yöntemdir. Özellikle doğrudan ölçümün zor olduğu durumlarda sistem parametrelerini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılır. Ancak, bu yaklaşımın çözümlerin tekilliği ve verilere duyarlılığı gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu çalışmada, fiziksel denklemleri yapay sinir ağlarına entegre eden Fizik Bilgili Yapay Sinir Ağları (PINN) yöntemi ile bu dezavantajların üstesinden gelinmesi amaçlanmıştır. PINN yönteminde, sinir ağları, hem verileri öğrenir hem de fiziksel yasaları sağlar. Bu sayede, daha az veri ile daha doğru ve güvenilir tahminler elde etmek mümkün hale gelir.

Bu çalışmada, tek serbestlik dereceli bir yay-kütle sistemi üzerinde PINN yönteminin uygulanabilirliği incelenmiştir. Sistemin titreşim verilerinden yola çıkarak, yay sabiti ve kütle parametreleri başarıyla tahmin edilmiştir. MATLAB ortamında gerçekleştirilen simülasyon sonuçları, PINN yönteminin önerilen problem için etkili bir çözüm olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler : PINN, Ters problem, Parametre tahmini, Yay-kütle sistemi

1. GİRİŞ

Ters Problemler, mühendislikte ve birçok farklı alanda karşılaşılan önemli bir problem sınıfıdır. Bu tarz problemlerde, bir sistemin bilinen çıktılardan yola çıkarak bilinmeyen girdileri veya parametreleri tahmin etmek hedeflenir (Tikhonov ve Arsenin, 1977). Özellikle doğrudan ölçmenin zor veya imkansız olduğu durumlarda ters problem çözümleri büyük önem taşımaktadır. Jeofizikte yeraltı yapılarının özellikleri, tıbbi görüntülemelerde organların içyapısı ve malzemelerin fiziksel özellikleri gibi örnekler ters problem yaklaşımı ile incelenmektedir (Aster ve arkadaşları., 2018).

Klasik ters problem yaklaşımlarında matematiksel model kurulur ve parametreler optimizasyon teknikleri ile çözülmeye çalışılmaktadır. Ancak bu yöntemler, çözümlerin tekliği, verilere duyarlılık ve yüksek hesaplama maliyeti gibi dezavantajlara sahiptir (Hadamard, 1902). Son yıllarda, derin öğrenme alanındaki gelişmeler ile birlikte yapay sinir ağları tabanlı yeni yöntemler, veriden öğrenme ve karmaşık ilişkileri modelleme yetenekleri sayesinde, ters problemlerin çözümünde de umut verici sonuçlar göstermiştir (Raissi ve arkadaşları, 2019). PINN'ler eğitilirken, sadece veri uyumunu değil aynı zamanda fiziksel yasaları da sağlanması hedeflenmektedir. Bu sayede daha az veri ile daha doğru ve güvenilir tahminler elde etmek mümkün hale gelmektedir (Raissi ve arkadaşları, 2017).

Bu çalışmada, tek serbestlik dereceli yay-kütle sistemi üzerinde, PINN yönteminin uygulanabilirliği incelenmiştir. Sistemin titreşim verilerinden yola çıkarak yay sabiti ve kütle parametreleri tahmin edilmiştir. Matlab ortamında gerçekleştirilen simülasyon sonuçları, PINN yönteminin önerilen problem için etkili bir çözüm olduğunu göstermiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Yay Kütle Sistemi

Bu çalışmada, basit harmonik hareket sergileyen bir yay-kütle sistemi incelenmiştir. Bu sistem, yay sabiti “ k ” ve kütlesi “ m ” olan bir kütlenin zamana bağlı hareketini ifade etmektedir. Sistemin hareket denklemi şu şekilde tanımlanmıştır.

$$m \cdot \ddot{x} + kx = 0 \quad (1)$$

Bu sisteme ait hareket denkleminin analitik çözümü şu şekilde tanımlanmıştır (M. Muzelak, 2024).

$$x(t) = C_1 \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} t\right) + C_2 \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}} t\right) \quad (2)$$

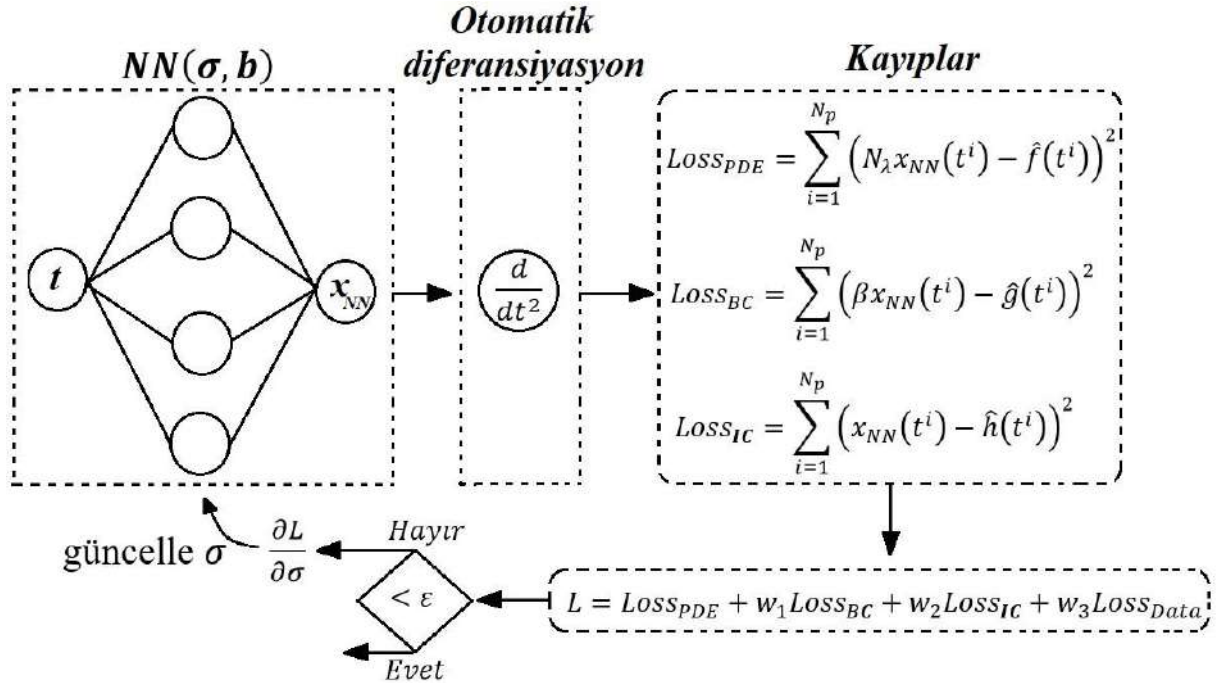
C_1 ve C_2 sabit katsayılar olup başlangıç şartlarından elde edilmektedir.

2.2. Veri Seti

Veri seti, sistemin hareket denkleminin analitik çözümünden elde edilen simülasyon sonuçları kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen veri seti $x(t)$ değerlerini tanımlamaktadır. Veri seti elde edilirken tahmin etmeye çalıştığımız sistem parametrelerinin gerçek değerleri $k = 10$ ve $m = 1$ olarak düşünülmüştür. Başlangıç değerleri $x(0) = -2$ ve $\dot{x} = 6$ olarak tanımlanmıştır.

2.2. PINN Sistemi

PINN yöntemi alt yapı olarak sinir ağı üstüne kurulmuş bir mimariye sahiptir. Eğitim aşamasında geleneksel sinir ağlarından farklı olarak sisteme ait bünye denklemleri, başlangıç ve sınır şartlarını da içermektedir. Ters probleme uyguladığımız zaman fiziksel sisteme ait denklemleri ve başlangıç ve sınır şartlarını da eğitime katması sebebiyle çözüm uzayı sınırları belirlenmiş olmaktadır. Genel olarak PINN sistemine ait diyagram Görsel 1.'de verilmiştir.



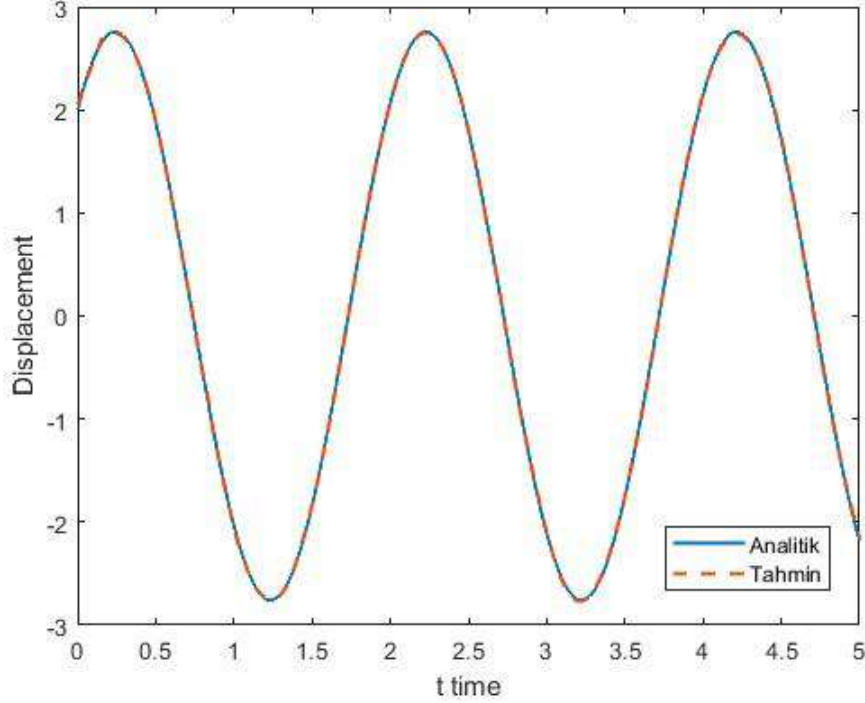
Görsel 1. Fizik Bilgili Sinir Ağının (PINN) şematik gösterimi

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

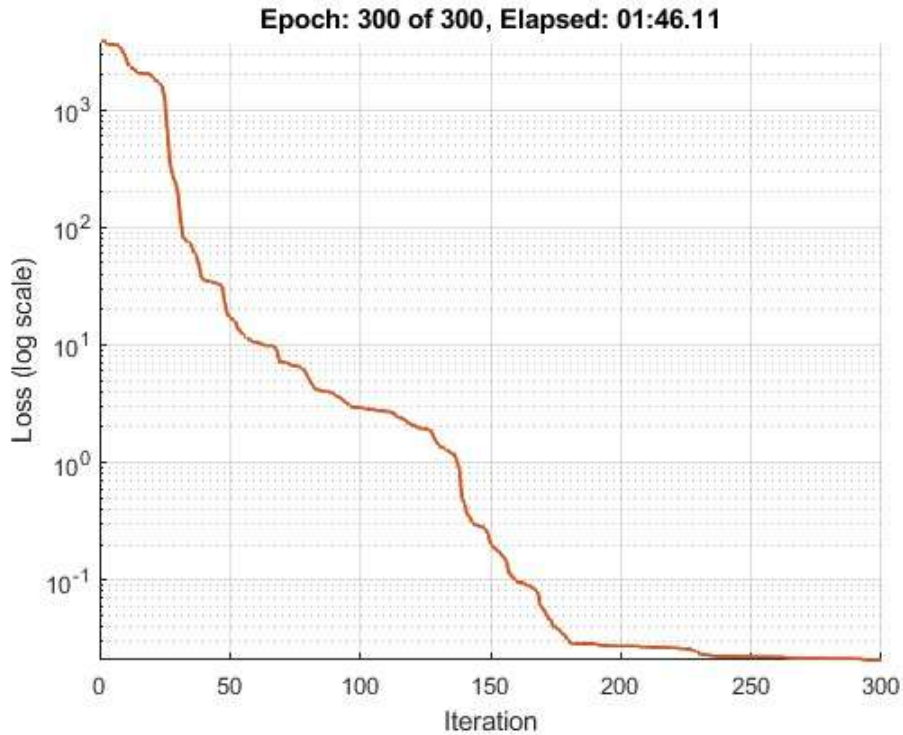
Problem MATLAB programı ortamında çözülmeye çalışılmıştır. Bu amaçla 4 gizli katmanlı ve her katmanda 80 nöron bulunan tek girdili ve tek çıkışlı bir ağ yapısı tercih edilmiştir. Giriş katmana zaman, kütle ve yay katsayısı bilgileri verilmiştir. Çıkış katmanından yer değiştirme değerleri alınmıştır. Çözüm için “LBFGS” algoritması tercih edilmiştir.

Görsel 2.'de ele aldığımız problemin çözümünden sonra tahmini yer değiştirme ve analitik çözümden elde edilen yer değiştirmelerin karşılaştırması verilmiştir. PINN yönteminin hesapladığı yer değişimi tahmin değerlerinin analitik çözümden elde edilen yer değişimi değerleriyle uyum için de olduğu gözlemlenmiştir. Yer değişimi değerleri PINN yöntemi tarafından hesaplanırken aynı zamanda “k” ve “m” parametrelerinin tahmini de yapılmıştır.

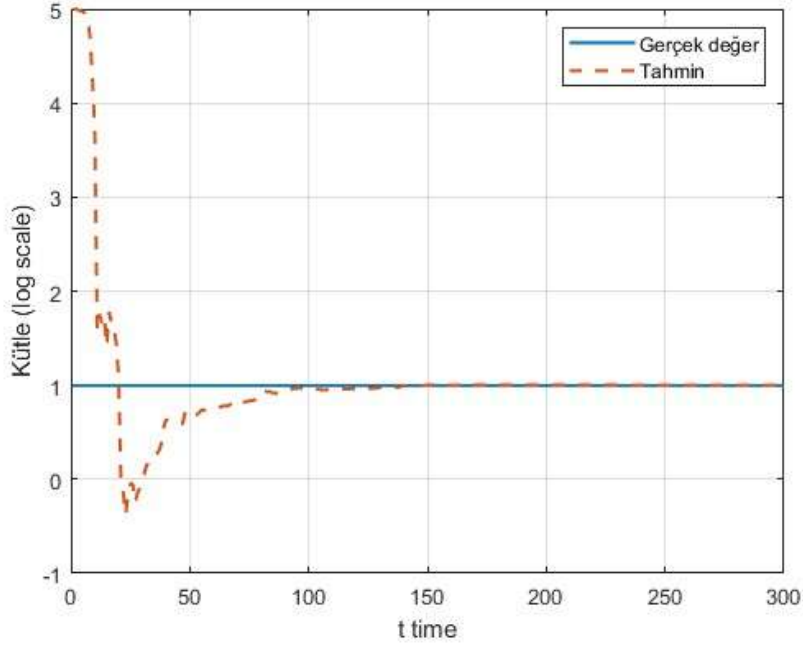
Görsel 4 ve görsel 5’te PINN yönteminin hesapladığı “k” ve “m” parametrelerinin iterasyona bağlı olarak değişim grafiğini görmekteyiz. Yaklaşık 150. iterasyonda tahmin değerlerinin gerçek değerlerle örtüştüğü gözlemlenmiştir. Görsel 3’te PINN yönteminin karar vermesi aşamasında kullandığı kayıp fonksiyonunun değişimini göstermektedir.



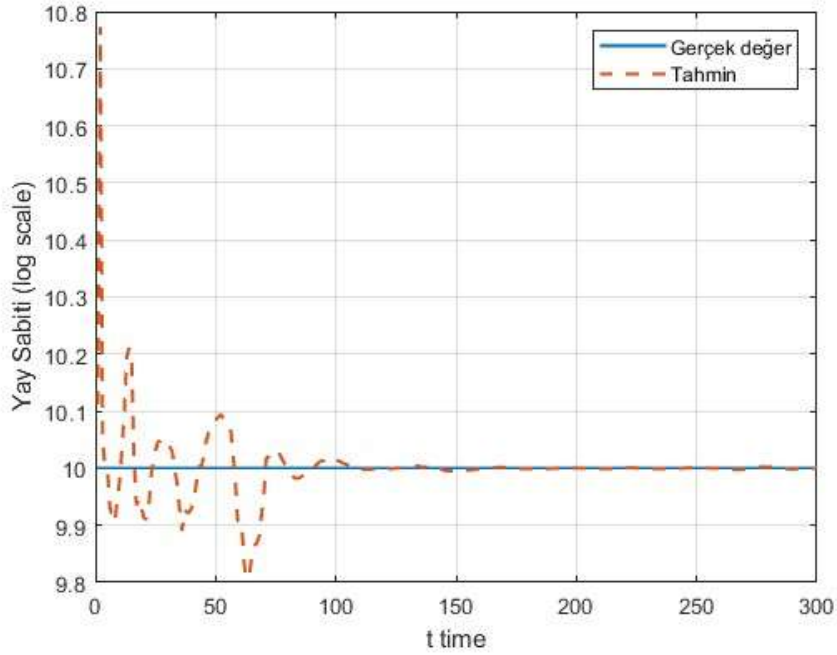
Görsel 2. Zamana bağlı PINN yönteminin hesapladığı yer değiştirme değişimi



Görsel 3. Kayıp fonksiyonu değişimi



Görsel 4. PINN yönteminin hesapladığı Kütle değerleri



Görsel 5. PINN yönteminin hesapladığı Yay sabiti değerleri

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada PINN yöntemi ile mühendislik problemlerinde karşılaştığımız ters problem tiplerine nasıl yaklaşıldığı gösterilmeye çalışılmıştır. Verilen örnek ile başlangıç ve sınır şartlarına bağlı olarak tahmin edilen parametrelerin gerçek değerlerle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Verilere bir miktar beyaz gürültü eklendiğinde tahmin doğruluğunda bir

miktar düşüş gözleendiği görülmüştür. Bu çalışma, daha karmaşık ters problem tipleri için de uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

1. Aster, R. C., Borchers, B., & Thurber, C. H., Parameter estimation and inverse problems. Academic press, 2018.
2. Hadamard, J., Sur les problèmes aux dérivées partielles et leur signification physique. Princeton university bulletin, 13(4), 49-52, 1902.
3. M. Muzelak, T. Skovranek and M. Ruzicka, Physics-Informed Neural Networks Application To Mass-Spring System Solution, 25th International Carpathian Control Conference (ICCC), Krynica Zdrój, Poland, pp. 01-04, 2024.
4. Raissi, M., Perdikaris, P., & Karniadakis, G. E., Physics informed deep learning (parti): Data-driven solutions of nonlinear partial differential equations, 2017.
5. Raissi, M., Perdikaris, P., & Karniadakis, G. E., Physics-informed neural networks:A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. Journal of Computational Physics, 378, 686-707, 2019.
6. Tikhonov, A. N., & Arsenin, V. Y., Solutions of ill-posed problems. VH Winston, 1977.

TERS PROBLEMLERİN PINN YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜLMESİ: ÖRNEK BİR UYGULAMA

Dr. Öğr. Üyesi Murat BALCI

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
muratbalci@subu.edu.tr - 0000-0002-3658-3223

Doç. Dr. Recep KILIÇ

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
recepkilic@subu.edu.tr- 0000-0003-1580-1997

ÖZET

Ters problem yaklaşımı, bir sistemin gözlemlenebilir çıktılarından yola çıkarak bilinmeyen girdilerini tahmin etmeyi amaçlayan bir yöntemdir. Özellikle doğrudan ölçümün zor olduğu durumlarda sistem parametrelerini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılır. Ancak, bu yaklaşımın çözümlerin tekilliği ve verilere duyarlılığı gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu çalışmada, fiziksel denklemleri yapay sinir ağlarına entegre eden Fizik Bilgili Yapay Sinir Ağları (PINN) yöntemi ile bu dezavantajların üstesinden gelinmesi amaçlanmıştır. PINN yönteminde, sinir ağları, hem verileri öğrenir hem de fiziksel yasaları sağlar. Bu sayede, daha az veri ile daha doğru ve güvenilir tahminler elde etmek mümkün hale gelir.

Bu çalışmada, tek serbestlik dereceli bir yay-kütle sistemi üzerinde PINN yönteminin uygulanabilirliği incelenmiştir. Sistemin titreşim verilerinden yola çıkarak, yay sabiti ve kütle parametreleri başarıyla tahmin edilmiştir. MATLAB ortamında gerçekleştirilen simülasyon sonuçları, PINN yönteminin önerilen problem için etkili bir çözüm olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler : PINN, Ters problem, Parametre tahmini, Yay-kütle sistemi

1. GİRİŞ

Ters Problemler, mühendislikte ve birçok farklı alanda karşılaşılan önemli bir problem sınıfıdır. Bu tarz problemlerde, bir sistemin bilinen çıktılarında yola çıkarak bilinmeyen girdileri veya parametreleri tahmin etmek hedeflenir (Tikhonov ve Arsenin, 1977). Özellikle doğrudan ölçmenin zor veya imkansız olduğu durumlarda ters problem çözümleri büyük önem taşımaktadır. Jeofizikte yeraltı yapılarının özellikleri, tıbbi görüntüleme organların içyapısı ve malzemelerin fiziksel özellikleri gibi örnekler ters problem yaklaşımı ile incelenmektedir (Aster ve arkadaşları., 2018).

Klasik ters problem yaklaşımlarında matematiksel model kurulur ve parametreler optimizasyon teknikleri ile çözülmeye çalışılmaktadır. Ancak bu yöntemler, çözümlerin tekilliği, verilere duyarlılık ve yüksek hesaplama maliyeti gibi dezavantajlara sahiptir (Hadamard, 1902). Son yıllarda, derin öğrenme alanındaki gelişmeler ile birlikte yapay sinir ağları tabanlı yeni yöntemler, veriden öğrenme ve karmaşık ilişkileri modelleme yetenekleri sayesinde, ters problemlerin çözümünde de umut verici sonuçlar göstermiştir (Raissi ve arkadaşları, 2019). PINN'ler eğitilirken, sadece veri uyumunu değil aynı zamanda fiziksel yasaları da sağlanması hedeflenmektedir. Bu sayede daha az veri ile daha doğru ve güvenilir tahminler elde etmek mümkün hale gelmektedir (Raissi ve arkadaşları, 2017).

Bu çalışmada, tek serbestlik dereceli yay-kütle sistemi üzerinde, PINN yönteminin uygulanabilirliği incelenmiştir. Sistemin titreşim verilerinden yola çıkarak yay sabiti ve kütle parametreleri tahmin edilmiştir. Matlab ortamında gerçekleştirilen simülasyon sonuçları, PINN yönteminin önerilen problem için etkili bir çözüm olduğunu göstermiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Yay Kütle Sistemi

Bu çalışmada, basit harmonik hareket sergileyen bir yay-kütle sistemi incelenmiştir. Bu sistem, yay sabiti “ k ” ve kütlesi “ m ” olan bir kütle için zamana bağlı hareketini ifade etmektedir. Sistemin hareket denklemi şu şekilde tanımlanmıştır.

$$m \cdot \ddot{x} + kx = 0 \quad (1)$$

Bu sisteme ait hareket denkleminin analitik çözümü şu şekilde tanımlanmıştır (M. Muzelak, 2024).

$$x(t) = C_1 \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} t\right) + C_2 \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}} t\right) \quad (2)$$

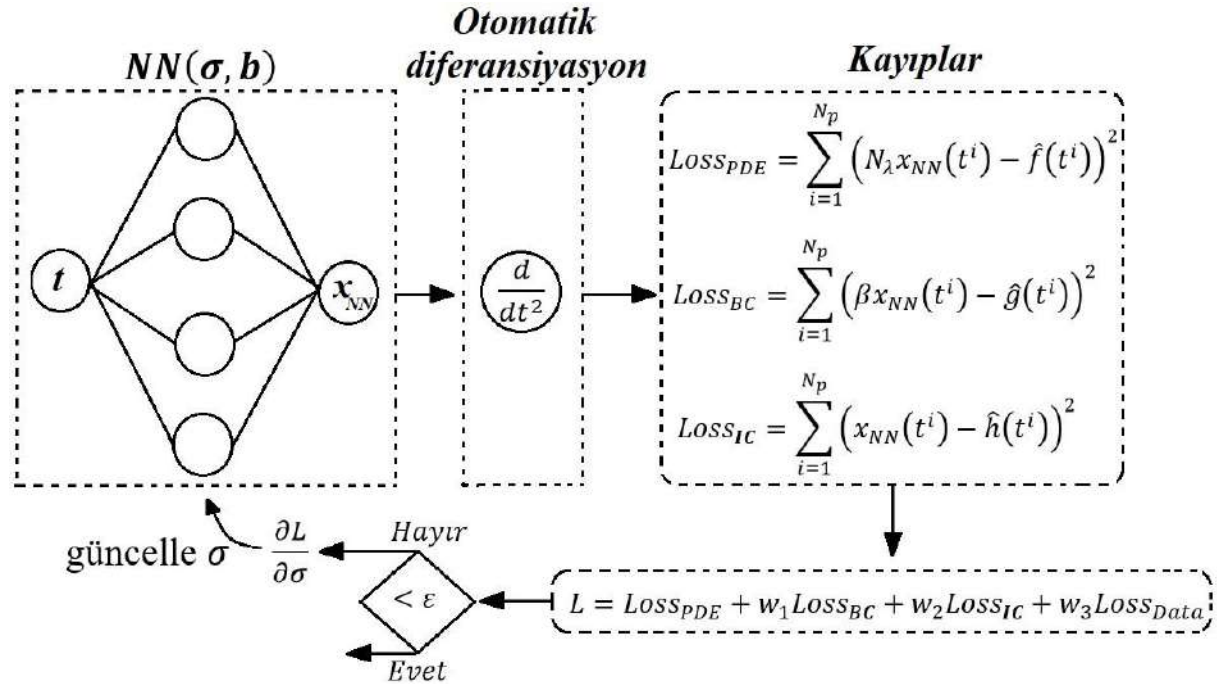
C_1 ve C_2 sabit katsayılar olup başlangıç şartlarından elde edilmektedir.

2.2. Veri Seti

Veri seti, sistemin hareket denkleminin analitik çözümünden elde edilen simülasyon sonuçları kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen veri seti $x(t)$ değerlerini tanımlamaktadır. Veri seti elde edilirken tahmin etmeye çalıştığımız sistem parametrelerinin gerçek değerleri $k = 10$ ve $m = 1$ olarak düşünülmüştür. Başlangıç değerleri $x(0) = -2$ ve $\dot{x} = 6$ olarak tanımlanmıştır.

2.2. PINN Sistemi

PINN yöntemi alt yapı olarak sinir ağı üstüne kurulmuş bir mimariye sahiptir. Eğitim aşamasında geleneksel sinir ağlarından farklı olarak sisteme ait bünye denklemleri, başlangıç ve sınır şartlarını da içermektedir. Ters probleme uyguladığımız zaman fiziksel sisteme ait denklemleri ve başlangıç ve sınır şartlarını da eğitime katması sebebiyle çözüm uzayı sınırları belirlenmiş olmaktadır. Genel olarak PINN sistemine ait diyagram Görsel 1.'de verilmiştir.



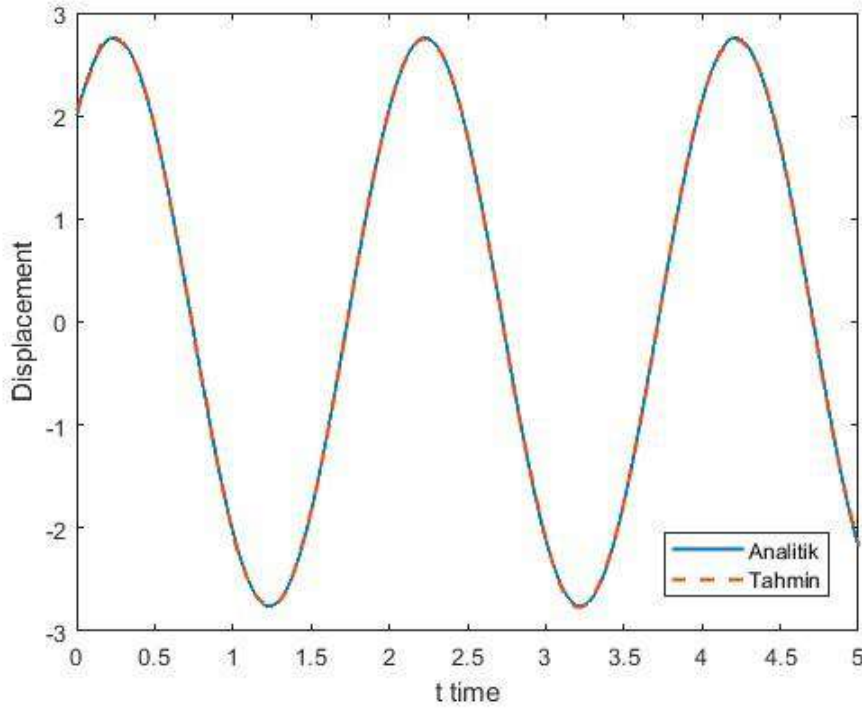
Görsel 1. Fizik Bilgili Sinir Ağının (PINN) şematik gösterimi

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

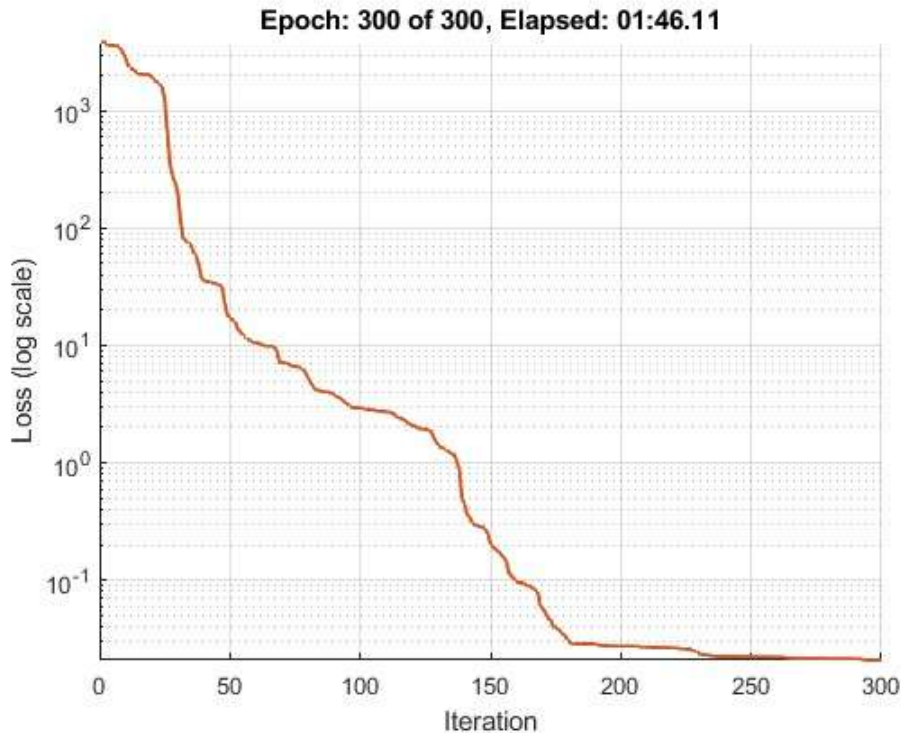
Problem MATLAB programı ortamında çözülmeye çalışılmıştır. Bu amaçla 4 gizli katmanlı ve her katmanda 80 nöron bulunan tek girdili ve tek çıkışlı bir ağ yapısı tercih edilmiştir. Giriş katmana zaman, kütle ve yay katsayısı bilgileri verilmiştir. Çıkış katmanından yer değiştirme değerleri alınmıştır. Çözüm için “LBFGS” algoritması tercih edilmiştir.

Görsel 2.'de ele aldığımız problemin çözümünden sonra tahmini yer değiştirme ve analitik çözümden elde edilen yer değiştirmelerin karşılaştırması verilmiştir. PINN yönteminin hesapladığı yer değişimi tahmin değerlerinin analitik çözümden elde edilen yer değişimi

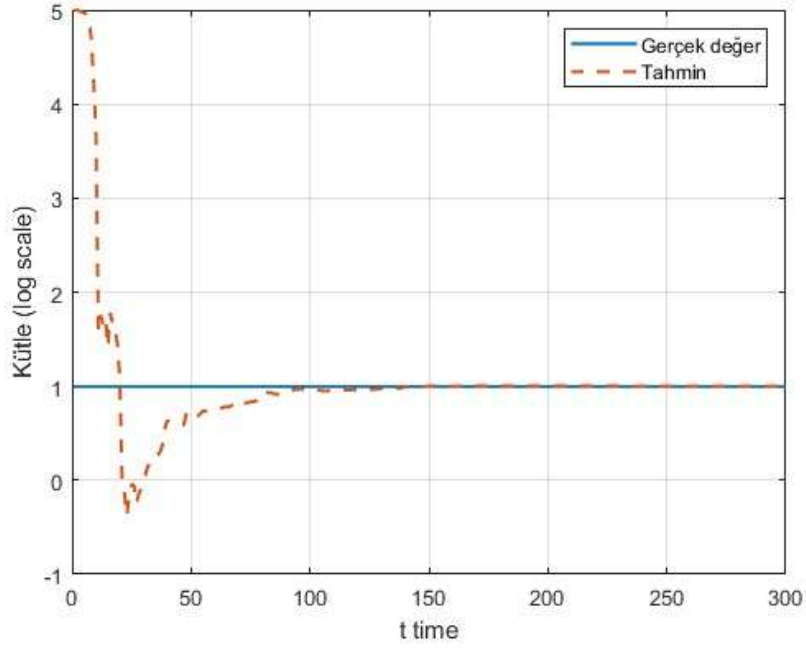
değerleriyle uyum için de olduğu gözlemlenmiştir. Yer değişimi değerleri PINN yöntemi tarafından hesaplanırken aynı zamanda “k” ve “m” parametrelerinin tahmini de yapılmıştır. Görsel 4 ve görsel 5’te PINN yönteminin hesapladığı “k” ve “m” parametrelerinin iterasyona bağlı olarak değişim grafiğini görmekteyiz. Yaklaşık 150. iterasyonda tahmin değerlerinin gerçek değerlerle örtüştüğü gözlemlenmiştir. Görsel 3’te PINN yönteminin karar vermesi aşamasında kullandığı kayıp fonksiyonunun değişimini göstermektedir.



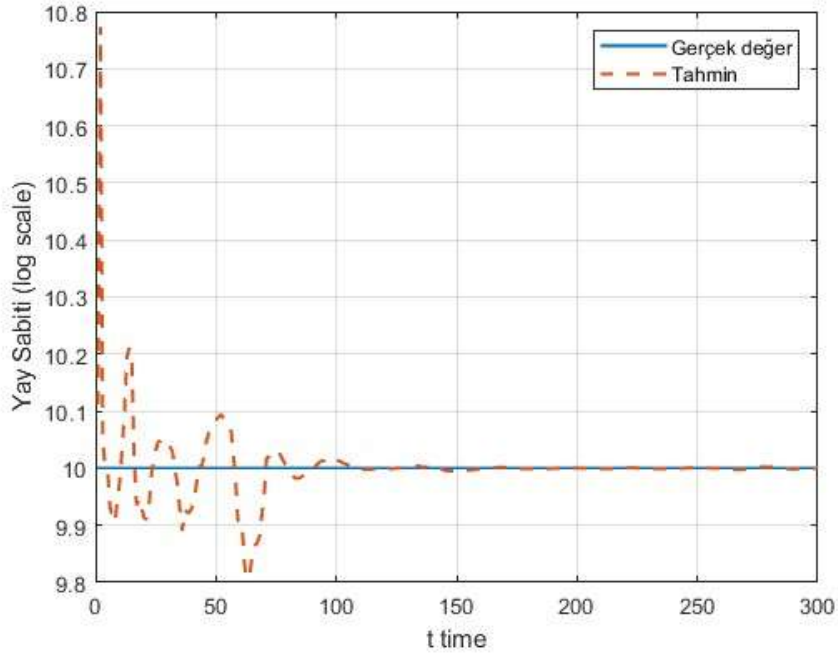
Görsel 2. Zamana bağlı PINN yönteminin hesapladığı yer değiştirme değişimi



Görsel 3. Kayıp fonksiyonu değişimi



Görsel 4. PINN yönteminin hesapladığı Kütle değerleri



Görsel 5. PINN yönteminin hesapladığı Yay sabiti değerleri

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada PINN yöntemi ile mühendislik problemlerinde karşılaştığımız ters problem tiplerine nasıl yaklaşıldığı gösterilmeye çalışılmıştır. Verilen örnek ile başlangıç ve sınır şartlarına bağlı olarak tahmin edilen parametrelerin gerçek değerlerle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Verilere bir miktar beyaz gürültü eklendiğinde tahmin doğruluğunda bir

miktar düşüş gözleendiği görülmüştür. Bu çalışma, daha karmaşık ters problem tipleri için de uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

1. Aster, R. C., Borchers, B., & Thurber, C. H., Parameter estimation and inverse problems. Academic press, 2018.
2. Hadamard, J., Sur les problèmes aux dérivées partielles et leur signification physique. Princeton university bulletin, 13(4), 49-52, 1902.
3. M. Muzelak, T. Skovranek and M. Ruzicka, Physics-Informed Neural Networks Application To Mass-Spring System Solution, 25th International Carpathian Control Conference (ICCC), Krynica Zdrój, Poland, pp. 01-04, 2024.
4. Raissi, M., Perdikaris, P., & Karniadakis, G. E., Physics informed deep learning (parti): Data-driven solutions of nonlinear partial differential equations, 2017.
5. Raissi, M., Perdikaris, P., & Karniadakis, G. E., Physics-informed neural networks:A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. Journal of Computational Physics, 378, 686-707, 2019.
6. Tikhonov, A. N., & Arsenin, V. Y., Solutions of ill-posed problems. VH Winston, 1977.

PINN YAKLAŞIMI İLE MÜHENDİSLİK PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ: BİR ÖRNEK UYGULAMA

Dr. Öğr. Üyesi Murat BALCI

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
muratbalci@subu.edu.tr - 0000-0002-3658-3223

Prof. Dr. Ömer Gündoğdu

Atatürk Üniversitesi
ogundogdu@atauni.edu.tr- 0000-0003-2656-4181

ÖZET

Mühendislik problemlerinde elde edilen diferansiyel denklemlerin bir kısmı analitik ve sayısal yöntemler ile çözülebilirken, bazıları için çözüm yöntemleri mevcut değildir. Çözümü mümkün olmayan bu tür problemlerin çözülmesi amacıyla fiziksel yasalarla entegre edilmiş yapay sinir ağları kullanılarak yeni bir alternatif çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Bu yönteme "Fizik Bilgili Yapay Sinir Ağları" (Physics-Informed Neural Networks, PINN) adı verilmiştir.

Bu çalışmada, PINN yöntemine dair mevcut literatür incelenmiş ve yöntem hakkında teorik bilgiler sunulmuştur. Ardından, tek serbestlik dereceli yay-kütle sistemine ait adi diferansiyel denklem, başlangıç ve sınır koşulları altında PINN yöntemi ile çözülmüştür. Problemin çözümü MATLAB ortamında kodlanmış ve analitik çözümlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, PINN yöntemi ile elde edilen çözümün analitik çözümlerle yüksek doğrulukla uyum sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler : PINN, Derin Sinir ağları, MATLAB, Yay-Kütle-sistemi

1. GİRİŞ

Mühendislik problemleri genellikle karmaşık diferansiyel denklemler ile ifade edilirler. Bu denklemler sistemin davranışı anlamak için önemli bilgiler de sunmaktadır (Rao, 1995). Bu denklemleri analitik ve sayısal yöntemler ile çözebiliyorken bazı durumlarda bu yöntemler yetersiz kalabilmektedir (Smith ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2021).

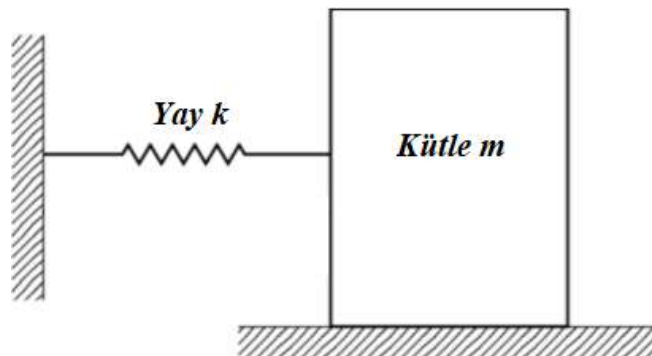
Son yıllarda, yapay zeka tabanlı yöntemlerin diferansiyel denklem çözümündeki potansiyeli önemli araştırmacılar açısından ilgi çekici bir konu olmuştur (Karniadakis ve ark., 2021). Fiziksel yasalarla birleştirilmiş yapay sinir ağları olan “Fizik Bilgili Yapay Sinir Ağları, (PINN)” mühendislik problemlerinin çözümünde büyük bir potansiyel sunmaktadır. Raissi ve arkadaşları (2019) yaptıkları çalışmada bu yöntemi ayrıntıları ile ele almışlardır. PINN yönteminde fiziksel prensiplerin yapay sinir ağlarının eğitim süreçlerine doğrudan nasıl dahil edildiğini ve eğitim sürecinde fiziksel bilgilerin nasıl kullanılması gerektiğini çalışmalarında açıklamışlardır. PINN yöntemi diferansiyel denklemlerin az sayıda veri ile çözülebilmeye olanak sağlamış ve fiziksel sistemi doğru bir şekilde modelleyebilmektedir (Raissi ve ark., 2019; Sun ve ark., 2020).

Bu çalışmada, PINN yönteminin teorik temeli verilecektir. Örnek bir uygulama olarak yay-kütle sistemine ait diferansiyel denklem verilen başlangıç ve sınır şartları altında PINN ile çözülecektir. Analitik çözüm ile karşılaştırılarak PINN yönteminin potansiyeli ortaya koyulmaya çalışılacaktır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Yay-Kütle sistemi

Yay kütle sistemi yay ve kütlede oluşmakta olup Görsel 1’de verilmiştir (M. Muzelak., 2024).



Görsel 1. Yay Kütle Sistemi

Newtonun ikinci hareket kanunundan (D. H. Krantz, 1973);

$$F_{net} = \sum_i F_i = m \cdot a = m \cdot \ddot{x} \quad (1)$$

Burada F_{net} , sistem üzerine etki eden tüm kuvvetlerin toplamını ifade etmektedir. Hook kanunundan yay üstünde oluşan kuvvet;

$$F_{yay} = k \cdot x \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Hook kanundan elde edilen 2 nolu denklem 1 nolu denklem de yerine yazılırsa sistemin hareket denklemi;

$$m \cdot \ddot{x} + kx = 0 \quad (3)$$

şeklinde olur. Bu denklem ikinci mertebeden, sabit katsayılı, homojen adi diferansiyel denklemdir. Bu denklem, sönümsüz serbest titreşim hareketi yapan yay kütle sisteminin hareketini tanımlamaktadır. 3 nolu denklemin analitik çözümü mevcuttur. Analitik çözüm (M. Muzelak, 2024);

$$x(t) = C_1 \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} t\right) + C_2 \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}} t\right) \quad (4)$$

şeklinde. C_1 ve C_2 sabit katsayılar olup başlangıç şartları ile elde edilmektedir.

2.2. PINN Mimarisi

Genel olarak yapay sinir ağları eğitilirken giriş ve çıkış verileri ile eğitilmektedirler. Giriş katmanına verilen giriş verisi ile yapay sinir ağı çıkış katmanından bir çıkış verisi sunar. Bu çıkış verisi bir kayıp fonksiyonu yardımıyla eğitim çıktı verisi ile karşılaştırılır. Kayıp fonksiyonu değerini minimuma yaklaştırmak amacıyla sinir ağı ağırlıkları, seçilen optimizasyon yöntemi ile her iteratif adımda güncellenmektedir. PINN yönteminin fiziksel sistemlerle uyumlu çıktılar üretmesi amacıyla, kayıp fonksiyonuna sisteminin sınırlarını çizmek amacıyla, başlangıç ve sınır şartları, sistemin diferansiyel denklemleri ve varsa deneysel veriler eklenmektedir.

$$LOSS_{PDE} = \sum_{i=1}^{N_p} \left(N_\lambda x_{NN}(t^i) - \hat{f}(t^i) \right)^2 \quad (5)$$

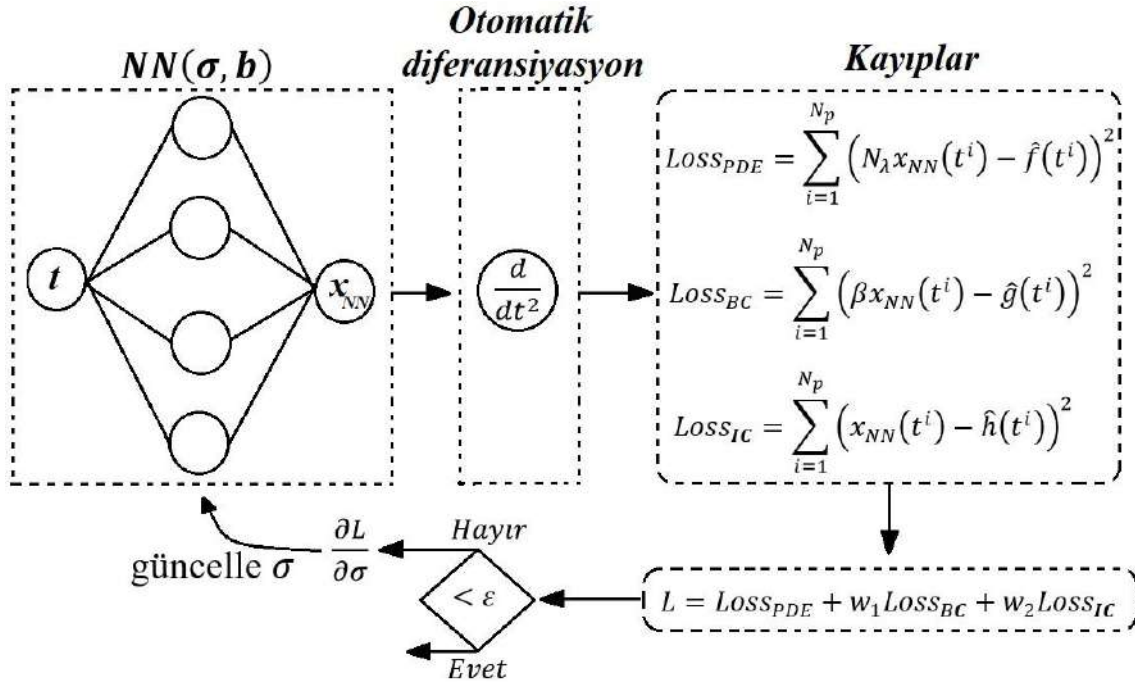
$$LOSS_{BC} = \sum_{i=1}^{N_p} \left(\beta x_{NN}(t^i) - \hat{g}(t^i) \right)^2 \quad (6)$$

$$LOSS_{IC} = \sum_{i=1}^{N_p} \left(x_{NN}(t_0) - \hat{h}(t_0) \right)^2 \quad (7)$$

$$L = LOSS_{PDE} + w_1 LOSS_{BC} + w_2 LOSS_{IC} \quad (8)$$

Burada N_λ , λ parametresiyle birlikte lineer veya lineer olmayan diferansiyel operatörü tanımlamaktadır. β sınır operatörüdür (Xi'an Li ve arkadaşları,2023). $\hat{f}(t)$ ifadesi 3 nolu denklemin sağ tarafındaki parametreleri tanımlamaktadır. Denklemin sağ tarafını boş bıraktığımız için çalışmamızda $\hat{f}(t) = 0$ şeklinde tanımlanacaktır. w_1 , w_2 ve w_3 kayıp

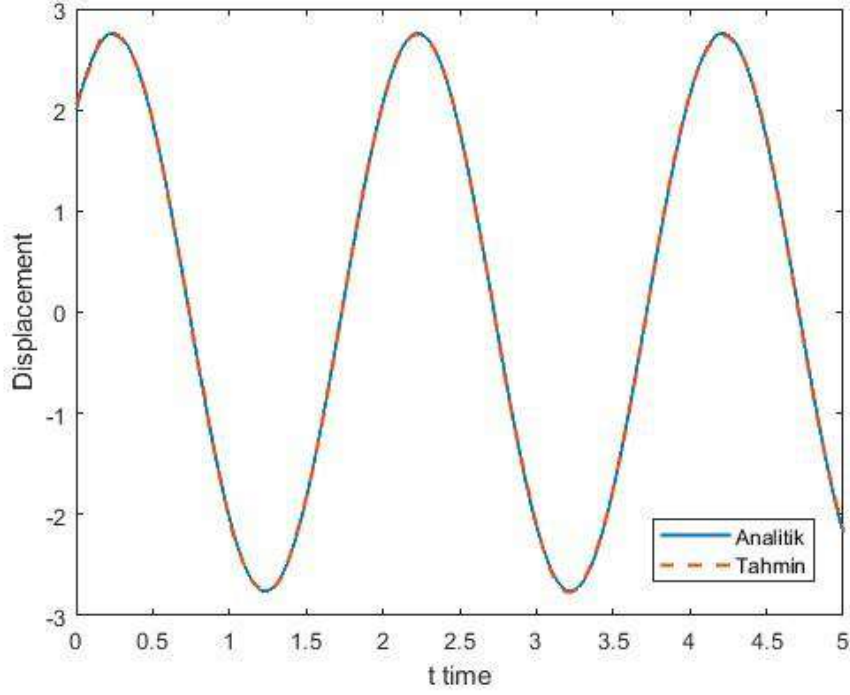
fonksiyonu ağırlık katsayılarıdır. Önem verdiğimiz parametrelerin ağırlıklarını artırabiliriz. Çözümde ağırlığı artan kayıp fonksiyonu daha baskın hale gelecektir.



Görsel 1. Fizik Bilgili Sinir Ağının (PINN) şematik gösterimi

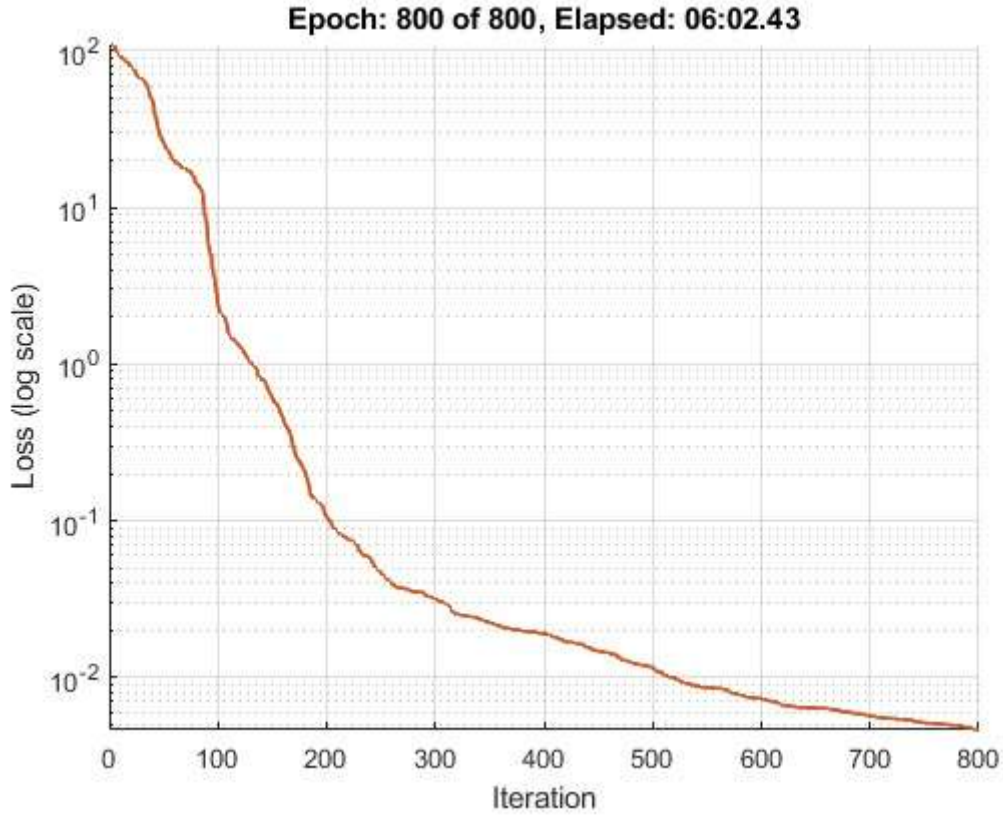
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Problemin çözümü amacıyla MATLAB programı kullanılmıştır. Sinir ağı “DEEP NETWORK DESIGNER” araç kutusu kullanılarak modellenmiş optimize edici olarak “L-BFGS” algoritması tercih edilmiştir. Sinir ağı 4 adet gizli katmana sahiptir ve her katman için 80 nöron tanımlanmıştır. Giriş sadece zaman girdisine sahip olup çıkış katmanı da tek nöronlu olup kütlelerin yer değişimini vermektedir. 800 iterasyon yapılmış ve toplam 6 dakika sürmüştür. Fiziksel sistemimizde kütle değeri $m = 1$, yay sabiti $k = 10$, başlangıç ve sınır şartı olarak $x(0) = 2$ ve $\dot{x} = 6$ olarak seçilmiştir.



Görsel 2. PINN tahmini ve analitik çözüm

Görsel 2’de PINN tarafından elde edilen tahmin ve analitik çözümün karşılaştırmasını vermiştir. Elde edilen tahmin ve analitik çözüm verilerinin birbiri ile iyi örtüştüğü görülmektedir. Görsel 3’te eğitim sırasında, iterasyon adımına bağlı olarak, kayıp fonksiyonundan elde edilen değerin değişim grafiğini vermektedir.



Görsel 3. Kayıp fonksiyonu değışimi

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yaptığımız bu çalışmada PINN yöntemi tanıtılmış ve bir örnek detaylı üstünde açıklamıştır. Örnek çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde PINN yönteminin fiziksel bir probleme ait diferansiyel denklemleri verilen başlangıç ve sınır şartlarına bağlı olarak çözebildiğini ve sonuçların çok iyi olduğunu gözlemledik. Bu çalışma daha kapsamlı ve karmaşık sistemlere ait diferansiyel denklem ve diferansiyel denklem takımlarına uygulanabilirliğini göstermiştir.

KAYNAKÇA

1. D. H. Krantz, Fundamental Measurement of Force and Newton's First and Second Laws of Motion, *Philosophy of Science*, vol. 40, no. 4, pp. 481-495, 1973.
2. Li, x., Deng, J., Wu, J., Zhang, S., Li, W., & Wang, Y. G., Physical informed neural networks with soft and hard boundary constraints for solving advection-diffusion equations using Fourier expansions. *Computers & Mathematics with Applications*, 159, 60-75, 2024.
3. Karniadakis, G. E., Kevrekidis, I. G., Lu, L., Perdikaris, P., Wang, S., & Yang, L., Physics-informed machine learning. *Nature Reviews Physics*, 3(6), 422-440, 2021.
4. M. Muzelak, T. Skovranek and M. Ruzicka, Physics-Informed Neural Networks Application To Mass-Spring System Solution, 25th International Carpathian Control Conference (ICCC), Krynica Zdrój, Poland, pp. 01-04, 2024.
5. Raissi, M., Perdikaris, P., & Karniadakis, G. E., Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving PDEs. *Journal of Computational Physics*, 378, 686-707, 2019.
6. Rao, S. S., Numerical methods for engineers. Wiley, 1995.
7. Smith, J., Brown, T., & Miller, A., Numerical methods for differential equations: An overview. *Computational Mechanics*, 45(3), 123-145, 2020.
8. Sun, W., Wang, Z., & Karniadakis, G. E., Physics-informed machine learning for heat transfer problems. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 159, 120106, 2021.
9. Zhang, L., Li, Y., & Wang, H., Advances in solving differential equations using artificial intelligence techniques. *Applied Mathematical Modelling*, 89, 456-472, 2021.

TARİHİ YAPILARIN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İLKESİ KAPSAMINDA YENİDEN İŞLEVLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi, SERDAR KASAP¹, Doç. Dr. PARİSA GÜNEŞ²,

Yüksek Mimar, GİZEM SERİ YEŞİL³

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, serdar.kasap@bilecik.edu.tr 0000-0002-7847-3284

² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, parisa.goker@bilecik.edu.tr 0000-0001-8876-2621

³ gizem.serii@gmail.com 0000-0002-4226-7024

ÖZET

Tarihi yapılar, bir toplumun kültürel mirasını, tarihsel geçmişini ve ekonomik gücünü yansıtan önemli unsurlar olup, toplumsal vizyonu da gözler önüne serer. Bu yapıların sürdürülebilirliği, yalnızca fiziksel olarak korunmalarıyla değil, aynı zamanda aktif bir şekilde kullanılmaya devam edilmeleriyle sağlanabilir. Toplumların zaman içinde değişen ihtiyaçları, yaşam biçimleri ve ekonomik koşulları, geçmişte belirli bir amaca hizmet eden yapıların yeni işlevlerle dönüştürülmesini gerekli kılar. Sürdürülebilirlik, bu bağlamda, kültürel mirasın korunması ve yeniden işlevlendirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir.

Literatürde, mevcut yapıların korunarak yeniden kullanıma kazandırılmasının, yıkım ve yeniden inşa süreçlerine kıyasla enerji ve kaynak tüketimini önemli ölçüde azalttığı, bununla birlikte çevresel sürdürülebilirliğe de katkıda bulunduğu vurgulanmaktadır. Bu çalışma, tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesinin sürdürülebilirliğe olan katkılarını incelemekte ve bu süreçte izlenebilecek yöntemlere dair akademik bir perspektif sunmaktadır. Literatür taramaları, yerinde gözlemler ve restorasyon uygulamaları üzerinden yapılan değerlendirmeler, tarihi yapıların daha verimli ve fonksiyonel bir şekilde nasıl kullanılabileceğine dair öneriler geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tarihi yapılar, sürdürülebilirlik, yeniden işlevlendirme, kültürel miras, restorasyon

1. GİRİŞ

Tarihi yapılar, buldukları dönemin kentsel ve mimari üslubunu, yapı teknolojilerini ve toplumların sosyo-ekonomik ve kültürel yapısını yansıtan, geleceğe aktarılması gereken önemli belge ve miras niteliğindedir. Bu yapıların sahip oldukları tarihsel, mimari ve kültürel değerler, koruma çalışmalarını gerektiren temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır. 19. yüzyıldan itibaren sistematik bir uzmanlık alanı haline gelen koruma kavramı, kültürel varlıkların tüm boyutlarıyla korunarak gelecek kuşaklara aktarılmasını hedeflemektedir. Koruma, yalnızca fiziksel bütünlüğün devam ettirilmesini değil, aynı zamanda yapıların işlevsel, estetik ve tarihsel değerlerinin sürdürülebilir bir şekilde yaşatılmasını da kapsamaktadır.

Koruma olgusu, her dönemin toplumsal, ekonomik ve teknolojik koşulları doğrultusunda şekillenmekte ve yöntemsel farklılıklar göstermektedir. Tarihi kentler ve yapılar, bir toplumun geçmişine dair bilgi birikimini, sanatsal anlayışını ve teknik becerilerini yansıtan somut kanıtlardır. Bu nedenle, bu yapılar üzerinde gerçekleştirilecek koruma ve onarım çalışmalarının belirli ilke ve standartlara uygun olarak yürütülmesi gereklidir. Koruma anlayışı, yalnızca geçmişin izlerini korumakla sınırlı kalmayıp, bu yapıların işlevselliğini sürdürdürebilmelerini ve toplumsal bellekte yerlerini koruyabilmelerini hedeflemektedir. İtalyan koruma uzmanı Piero Gazzola, “Bir yapı, artık özgün amacına hizmet etmiyorsa dahi korunması yalnızca pratik bir gereklilik değil, aynı zamanda kültürel bir sorumluluktur. Bu sorumluluk, gelecek nesillerin kültürel olgunluk düzeyiyle doğrudan ilişkilidir” ifadeleriyle, koruma çalışmalarının toplumsal ve kültürel boyutuna dikkat çekmektedir [1].

19. yüzyıldan itibaren bir uzmanlık alanı olarak gelişen koruma uygulamaları, günümüzde disiplinler arası bir yaklaşım gerektiren ve küresel bağlamda değerlendirilen bir alan haline gelmiştir. Çağdaş koruma kuramları, yasal düzenlemeler, endüstri ve modern mirasın tanımlanması, peyzaj düzenlemeleri, ileri teknolojiyle gerçekleştirilen belgeleme çalışmaları ve sürdürülebilirlik ilkesi, bu alanın güncel konularını oluşturmaktadır. Özellikle artan enerji tüketimi, sınırlı doğal kaynaklar ve çevresel etkiler, sürdürülebilirlik ilkesini kaçınılmaz kılmıştır. Bu bağlamda, tarihi yapıların korunmasında sürdürülebilirlik kavramı, yalnızca çevresel bir gereklilik değil, aynı zamanda ekonomik ve kültürel bir sorumluluk olarak ele alınmaktadır. Mevcut yapıların korunarak yeniden işlevlendirilmesi, yıkılarak yeniden inşa edilmelerine kıyasla enerji ve kaynak kullanımını büyük ölçüde azaltmakta, atık üretimini en aza indirmekte ve çevresel etkileri minimize etmektedir.

2. TARİHİ YAPILARIN KORUNMASI VE YENİDEN İŞLEVLENDİRİLMESİ

2.1. Tarihi Yapı Kavramı

Tarihi yapı, bir yerleşim alanının veya bölgenin tarihsel, kültürel ve estetik değerlerini yansıtan önemli yapılardır. Bu yapılar, genellikle geçmişin izlerini taşıyan ve bir toplumun kültürel kimliğini oluşturan unsurlar olarak kabul edilir. Bir ülkenin veya bölgenin geçmişini anlamak ve bu geçmişi gelecek nesillere aktarmak adına büyük öneme sahiptir. Genellikle eski dönemlere ait olan bu yapılar, zaman içinde çeşitli restorasyonlar ve yenileme süreçlerinden geçirilerek günümüze ulaşmıştır ve her biri bulunduğu toplumun tarihi ve kültürel bağlamını yansıtmaktadır.

Tarihi binalar, mimari anlamda öneme sahip ve çoğunlukla kültürel miras kapsamında değerlendirilen yapılardır. Bu tür yapılar, yıkılmalarını veya önemli ölçüde değiştirilmesini engelleyen yasal düzenlemelerle korunmaktadır.

Tarihi yapıların korunması ve anlaşılması, geçmişin sadece bir dizi olaydan ibaret olmadığını, aksine, günümüz dünyasını şekillendiren karmaşık bir süreç olduğunu kabul eder. Foner, tarihsel yapıyı, geçmişin sadece bir dizi olay olarak değil, mevcut durumu etkileyen ve şekillendiren karmaşık bir süreç olarak tanımlar [2]. Bu, tarihin yalnızca doğrusal bir şekilde ilerleyen olaylar zinciri değil, birbiriyle etkileşim içinde olan ve birbirini şekillendiren sosyal, kültürel, ekonomik ve politik faktörlerin bir ağı olduğunu ifade eder. Ayrıca, tarihsel süreçlerin

yalnızca olaylar ve rakamlarla değil, bu olayları yorumlayan kişiler tarafından şekillendirilen bir anlatı olarak anlaşılması gerektiği vurgulanır [3].

2.2. Tarihi Yapılarda Koruma Kavramı, Nedenleri ve Yöntemleri

Koruma kavramı, tarihsel, sanatsal ve kültürel mirasın sürekliliğini sağlamayı amaçlayan bir yaklaşım olarak farklı şekillerde tanımlanmıştır. Doğan Hasol, bu kavramı, tarih ve sanat değeri taşıyan yapıların ya da kentsel alanların varlığını sürdürebilmesi için alınması gereken tedbirler bütünü olarak açıklamaktadır [4]. Yıldız ise korumayı, sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla kültürel mirasın korunarak geleceğe aktarılması şeklinde ele almaktadır [5]. Ona göre, koruma faaliyetleri, toplumların geçmişteki sosyal ve ekonomik yapılarının yanı sıra kültürel değerlerini yansıtan unsurların değişim süreçlerinde yok olmalarının önüne geçmeye odaklanmaktadır.

Tarihi yapıların korunması, kültürel mirasın devamlılığını sağlamanın yanı sıra mimari ve tarihsel değerlerin geleceğe taşınmasını hedefleyen çok yönlü bir süreçtir. Tarihi yapıların korunmasının temel motivasyonlarından biri, bu yapıların bir bölgenin veya dönemin tarihine, kültürüne ve toplumsal yapısına dair bilgi sunma kapasitesidir. Aynı zamanda bu yapılar, bir topluluğun kimliği ve sürekliliği için güçlü semboller olarak görülmektedir. Bunun yanında, tarihi yapıların korunması, belirli mimari tarzların ya da dönemlerin temsilcisi olan yapıların estetik ve tarihsel önemlerini koruma amacını taşır. Bu süreç, yapının özgün malzemelerinin, tasarım özelliklerinin ve estetik bütünlüğünün korunmasını, ayrıca yapılan değişikliklerin orijinal tasarımla uyumlu bir şekilde gerçekleştirilmesini içerir.

Tarihi yapıların korunması, bir toplumun inşa edilmiş çevresinin, kültürel kimliğinin ve tarihi anlatısının korunmasını sağlayan hayati bir faaliyettir. Bu koruma çalışmaları, geçmişin değerlerini geleceğe taşırken aynı zamanda toplulukların kimliklerini güçlendiren bir miras yaratır.

Mimari mirasın korunması, ülkelerin kültürel ve politik bağlarına bağlı olarak farklı yaklaşımlar sergileyebilse de tarihi yapıların yaşam döngüsünün uzatılmasına yönelik belirli temel kavramlar evrensel bir öneme sahiptir. Bu kavramlar arasında bakım, onarım, bütünleme, restorasyon, yeniden inşa, yer değiştirme, yenileme, yeniden kullanım, adaptif yeniden işlevlendirme ve rehabilitasyon bulunmaktadır [6]. Söz konusu uygulamalar, tarihi yapıların fiziksel dayanıklılığını ve kültürel işlevselliğini koruyarak, gelecek kuşaklara aktarılmasını amaçlayan disiplinler arası bir sürecin temel bileşenleridir.

Restorasyon: Restorasyon, bir yapının orijinal durumuna en yakın haliyle yeniden kazandırılmasını amaçlayan bir uygulamadır. Bu süreç, yapıya sonradan eklenen unsurların veya yapılan değişikliklerin kaldırılmasını, geleneksel yapı tekniklerinin araştırılmasını ve eksik öğelerin orijinal malzemelere uygun şekilde yeniden üretilmesini içerebilir. Restorasyonun temel hedefi, yapının orijinal görünümünü ve işlevini mümkün olduğunca aslına sadık bir biçimde geri kazandırmaktır.

Yenileme (Renovation): Yenileme teknikleri, özgün malzemenin korunmasının mümkün olmadığı durumlarda, yapının tarihsel ve mimari özgünlüğünü korumaya yönelik bir yöntemdir.

Bu kapsamda, müdahalelerin minimum düzeyde tutulması ve yenilenen elemanların, özgün malzeme ile estetik ve yapısal uyum içinde olması temel bir gerekliliktir. Bu yaklaşım, yapının ömrünü uzatırken özgünlüğün ve bütünlüğün sürdürülebilirliğini hedefler [6].

2.3. Tarihi Yapılarda Yeniden İşlevlendirme Kavramı, Nedenleri ve Yöntemleri

Tarihi yapıların işlevsel dönüşümü ve yeniden kullanımı, zamanla işlevselliğini yitiren yapıların yıkılarak yeni yapıların inşa edilmesi yerine, bu yapıların özgün niteliklerini koruyarak çağdaş gereksinimlere uygun yeni işlevlerle bütünleştirilmesini ve sürdürülebilir bir şekilde muhafaza edilmesini amaçlayan bir yaklaşımdır.

Yeniden işlevlendirme, bir yapının mimari, estetik, kültürel ve sosyal değerlerini koruyarak, mevcut kullanıcı gereksinimlerine uygun çağdaş bir koruma yaklaşımını ifade etmektedir. Bu süreç, işlevini yitirmiş yapılara, mekânsal ve yapısal özellikleri doğrultusunda yeni kullanım olanakları sunmayı amaçlamaktadır [7].

Pekol'un Weeks'ten yaptığı alıntıya göre yeniden işlevlendirme, bir yapının tarihsel, kültürel veya mimari özelliklerini ve/veya bileşenlerini koruyarak, onarım ve eklemeler yoluyla bu yapıya, orijinal işlevinden farklı bir işlev kazandırma sürecini ifade etmektedir [8].

Yeniden işlevlendirme, yapıların fiziksel yıpranmalarını onararak, tarihsel ve kültürel değerlerini koruyarak modern ihtiyaçlara uygun hale getirilmesini sağlar. Bu süreç, yapıların kültürel miras niteliği taşıması nedeniyle, kültür sürekliliğinin sağlanması, tarih bilincinin korunması ve toplumsal değişimlere yanıt verebilmesi için gereklidir.

İyileştirme/Rehabilitasyon (Rehabilitation): Tarihi yapıların karakteri ve sahip oldukları diğer değerlerin korunmasının yanı sıra, çeşitli teknik ve yöntemler aracılığıyla bu yapıların daha işlevsel, yaşanabilir ve tercih edilebilir hale getirilmesi süreci, literatürde iyileştirme veya rehabilitasyon olarak tanımlanmaktadır [9]. İyileştirme, yapının güncel veya değişmiş kullanım gereksinimlerini karşılayabilmesi amacıyla geliştirilen bir yöntem olarak değerlendirilmekte; aynı zamanda, yapının işlevsel değerini daha üst düzeye taşımayı hedefleyen bir uygulama olarak da açıklanmaktadır [10].

Yeniden Kullanıma Kazandırma (Reuse): Tarihi yapı ve binaların asli tasarımı dikkate alınarak, gerekli uyarlamalarla yeni işlev ve ihtiyaçlara cevap verebilir hale getirilmesi, koruma süreçlerinde önemli bir yaklaşımdır [9]. Yapının koruma çalışmaları sonrasında yeniden kullanıma kazandırılması, düzenli periyodik bakımın sağlanmasına da olanak tanıyarak ekonomik açıdan sürdürülebilir bir çözüm olarak değerlendirilebilir.

Yeniden Kullanıma Adaptasyon (Adaptive Reuse): İşlevini yitirmiş veya âtil durumda olan yapıların, özgün tasarım özellikleri korunarak, yeni gereksinimlere uygun şekilde dönüştürülmesi yoluyla yapının ömrünü uzatmayı hedefleyen bir müdahale yöntemidir [6].

3. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK BAĞLAMINDA TARİHİ YAPILARIN KORUNMASI VE YENİDEN İŞLEVLENDİRİLMESİ

3.1. Sürdürülebilirlik Kavramı

Sürdürülebilirlik, toplumların insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkilerini giderek daha fazla fark etmeye başlamasıyla son yıllarda önemli bir araştırma ve uygulama konusu olmuştur. Bu kavram, mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılamakla birlikte, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme kapasitesini tehlikeye atmadan bu süreci sürdürme yeteneğini ifade etmektedir.

1987 yılında yayımlanan Brundtland Raporu, sürdürülebilirliği, bugünün ihtiyaçlarını karşılamadan yanı sıra, gelecek nesillerin kendi gereksinimlerini karşılama olanaklarını tehlikeye atmadan kalkınmayı sağlama ilkesi olarak tanımlamaktadır.

Sürdürülebilirlik hem insan yaşamı hem de doğal çevre bağlamında, kaynakların sürekliliğini ve dengeli kullanımını amaçlayan çok yönlü bir kavram olarak ele alınmaktadır [11].

Sürdürülebilirlik, çevresel boyutun ötesinde, ekonomik ve sosyal faktörleri de içeren çok disiplinli bir yaklaşımı kapsamaktadır. Bu bağlamda, sürdürülebilirliğin temel ilkelerinden biri, kaynakların, gelecekteki nesillerin de eşit erişime sahip olacağı şekilde yönetilmesi gerektiğini öngören nesiller arası öz kaynak ilkesidir.

3.2. Tarihi Yapılarda Sürdürülebilirlik

Tarihi binaların korunması ve sürdürülebilirliği, bütünsel ve disiplinler arası bir yaklaşım gerektiren karmaşık bir sorundur. Mimari mirasın korunması ile sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin entegrasyonu, yalnızca yapısal değil, aynı zamanda sosyal ve kültürel bir dengeyi de gerektirmektedir. Bu dengeyi sağlamak için, mimarlar, mühendisler, koruma uzmanları, politika yapımcılar ve yerel toplulukların ortak çabaları esastır [12].

Tarihi yapılar, bir toplumun belirli bir dönemine ait kültürel, sosyal ve mimari izleri taşıyan önemli belgeler olarak kabul edilmektedir. Bu yapılarının sürdürülebilirliğinin sağlanması, yalnızca fiziksel varlıklarının korunmasından ibaret olmayıp, aynı zamanda bu yapılarla ilişkilendirilen tarihsel ve kültürel değerlerin gelecek nesillere aktarılmasını da hedeflemektedir. Bu bağlamda, tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesine dair ilk ilkesel çerçeve, 1931 yılında kabul edilen *Carta del Restauro* (İtalyan Restorasyon Tüzüğü) kapsamında, özellikle 7. maddede belirlenmiştir. Söz konusu madde, tarihi yapıların koruma sürecinde dikkat edilmesi gereken temel prensipleri ortaya koymakta ve bu yapıların sürdürülebilir bir şekilde yeniden işlevlendirilmesine yönelik önemli bir referans sağlamaktadır.

Tarihi yapılar, kültürel, sosyal ve ekonomik değerleri nedeniyle korunması gereken önemli varlıklar arasında yer almaktadır, ancak sürdürülebilirlik ilkelerinin bu tür yapılara entegre edilmesi, çeşitli zorlukları beraberinde getirmektedir. Bu zorluklar arasında, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerinin, yapıların mimari ve kültürel değerleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirilmesi önemli bir yer tutmaktadır. Bunun yanı sıra, erişilebilirliğin

iyileştirilmesi ve adaptif yeniden kullanım stratejilerinin hayata geçirilmesi, tarihi yapıların hem işlevselliğini artırmak hem de koruma süreçlerini desteklemek açısından kritik unsurlar arasında yer almaktadır.

Tarihi yapıların sürdürülebilirliğine yönelik çözüm stratejileri arasında pasif güneş tasarımı, yeşil çatı uygulamaları ve dikey bahçe sistemleri gibi yenilikçi yöntemler bulunmaktadır. Tarihi yapının bağlamsal özellikleri, tasarımsal nitelikleri ve çevresel kısıtlamaları göz önüne alınarak, spesifik ve yerel gerekliliklere uygun bireyselleştirilmiş bir yaklaşım geliştirilmesi gerekmektedir. Bu tür yaklaşımlar hem kültürel mirasın korunmasını hem de sürdürülebilirlik hedeflerinin başarılmasını mümkün kılabılır.

3.3. Koruma ile Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik perspektifinden tarihi yapıların korunması, yapıların tarihi ve kültürel değerlerinin yanı sıra çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik sürdürülebilir uygulamalar ve malzeme kullanımı arasındaki dengeyi gerektirir.

Tarihi yapılar, geçmişin izlerini taşıyan ve toplumsal kimliğimizi yansıtan önemli Dünya mirası öğeleridir. Bu yapıların korunması ve sürekliliğinin sağlanması amacıyla gerçekleştirilen müdahaleler, büyük bir özen ve titizlikle yürütülmelidir. Yenileme süreçlerinde, yapının özgün mimari karakteristiklerinin muhafaza edilmesi, işlevsel olarak doğru şekilde uyarlanması, malzeme seçimi ve uygulama tekniklerinin titizlikle belirlenmesi gerekmektedir. Yapı üzerinde yer alan donatıların ve elemanların doğru bir şekilde kullanılması ve gerekirse sonradan eklenen ilavelerin kaldırılması, yapının eski özgün haline dönmesini sağlamak için önemli bir koşuldur [13].

Tarihi yapıların korunmasında, özgün mimari bütünlüğün muhafaza edilmesi ile çevresel sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği hedeflerinin entegrasyonu arasında bir denge sağlanması gerekmektedir. Bu denge, sürdürülebilir uygulamalar ve malzeme seçimleri ile gerçekleştirilerek, binanın hem tarihi değerleri korunmuş hem de çevre dostu ve enerji verimli bir hale getirilmiş olur [14].

Tarihi yapılar, özellikle kültürel miras açısından zengin şehirlerde önemli bir enerji talebi oluşturmaktadır. Bu bağlamda, tarihi binaların enerji verimliliğini artırmak, karbon emisyonlarını azaltmak için potansiyel bir çözüm sunmaktadır. Tarihi yapıların özgün mimari ve yapısal özellikleri, mevcut teknolojilerle uyumlu altyapı ve malzeme eksiklikleri nedeniyle bazı zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bununla birlikte, uygun yenilikçi yöntemler ve teknolojilerle, tarihi yapıların görsel bütünlüğü bozulmadan enerji verimliliği sağlayan sistemlerin entegrasyonu mümkündür. Tarihi yapıların korunmasına yönelik mevcut mevzuat, bu tür yenilikçi müdahalelere genellikle temkinli yaklaşırsa da Avrupa'da tarihi binaların verimliliğini artırmaya yönelik çeşitli yenilikçi projeler ve akademik çalışmalar son yıllarda önemli bir gelişim göstermektedir [15].

3.4. Yeniden İşlevlendirme ile Sürdürülebilirlik

Yeniden işlevlendirme, mevcut yapıların yıkılarak yeniden inşa edilmesi yerine, sürdürülebilirlik ilkesine dayalı olarak mevcut yapıların uyarlanabilir bir şekilde yeniden kullanımını esas alan bir koruma yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, yapıların kültürel, tarihi ve mimari değerlerini muhafaza ederken çevresel etkilerini minimize etmeyi ve enerji verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Eski yapıların yeniden işlevlendirilmesi, yalnızca mimari ve kültürel mirasın sürekliliğini sağlamaya değil, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkıda bulunan stratejik bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

Yeniden işlevlendirme, eski yapıların enerji verimliliğini artırmayı, çevresel etkilerini azaltmayı ve aynı zamanda sosyal, kültürel ve ekonomik değerlerini korumayı amaçlayan bir yaklaşım olarak tanımlanabilir. Bu yaklaşım, tarihi yapıların korunmasının ötesinde, gelecekteki nesillere daha sürdürülebilir ve yaşanabilir bir dünya bırakma hedefini de kapsamaktadır [16].

Yeniden işlevlendirme uygulamalarında enerji verimliliğini artırmaya yönelik müdahaleler, sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, yalıtımlı pencere ve kapı sistemlerinin kullanımı, güneş enerjisi panellerinin entegrasyonu, enerji tasarruflu aydınlatma teknolojilerinin uygulanması ve yüksek verimli HVAC sistemlerinin tercih edilmesi, yapıların termal performansını iyileştirirken enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu müdahaleler, yapıların tarihsel ve mimari bütünlüğünü koruma ilkesiyle uyum içinde gerçekleştirilmelidir. Düşük uçucu organik bileşik (VOC) içeriğine sahip boyalar ve yeşil çatı sistemleri gibi sürdürülebilir inşaat malzemelerinin kullanımı, yenileme süreçlerinin çevresel etkilerini azaltarak ekolojik duyarlılığı artırmaktadır [17].

Yeniden işlevlendirme süreçlerinin temel unsurlarından biri, uyarlanabilir yeniden kullanım stratejilerinin uygulanmasıdır. Bu yaklaşım, yalnızca tarihi yapıların korunmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarda sürdürülebilirliği teşvik eder. Uyarlanabilir yeniden kullanım, mevcut binalara yeni işlevler kazandırarak doğal kaynakların korunmasını, atık miktarının azaltılmasını ve çevresel etkilerin en aza indirilmesini hedefler. Ayrıca, bu uygulama, toplulukların yeniden canlandırılmasına katkıda bulunurken, yeni inşaat ihtiyacını azaltarak dairesel ekonomi ilkelerinin hayata geçirilmesine olanak tanır. Bu yöntem, yapıların hem geçmişle bağını korumasını hem de geleceğin sürdürülebilir şehir gelişimine entegre olmasını mümkün kılar.

Mevcut yapıların ve sistemlerin yeniden işlevlendirilmesi, sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde önemli bir strateji olarak kabul edilmektedir. Bu süreç, doğal kaynakların tüketiminin azaltılmasına, tarihi ve kültürel mirasın korunmasına ve binaların çevresel performansının iyileştirilmesine katkı sağlayabilir. Yeniden işlevlendirme, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği desteklemekle kalmaz, aynı zamanda yapıları, yerel toplulukların ihtiyaçlarına göre uyarlayarak daha verimli ve uzun ömürlü hale getirir.

4. ARAŞTIRMA ÖRNEĞİ: ORTAKÖY SURP KRİKOR LUSAVORİÇ ERMENİ KATOLİK KİLİSESİ

4.1. Ortaköy Surp Krikor Lusavoriç Ermeni Katolik Kilisesi Tarihiçesi

İstanbul'un Beşiktaş ilçesine bağlı Ortaköy semtinde yer alan Surp Krikor Lusavoriç Ermeni Kilisesi, Osmanlı İmparatorluğu'ndaki Ermeni toplumunun zengin tarihini yansıtan önemli bir dini ve kültürel yapıdır. 5 Kasım 1837 tarihinde Sultan II. Mahmud'un fermanıyla inşasına izin verilen kilise, Krikor Hekimyan tarafından bağışlanan arazi üzerinde inşa edilmiş ve 6 Ocak 1839'da ibadete açılmıştır. Aziz George Kilisesi olarak da bilinen bu yapı, 19. yüzyılda Ortaköy'de yaşayan Ermeni toplumu tarafından inşa edilmiş olup, geleneksel Ermeni mimarisinin karakteristik özelliklerini barındırmaktadır. Kilise, dikkat çekici kubbesi ve alması taş işçiliğiyle dönemin mimari anlayışını yansıtmaktadır.

Ermeni Surp Krikor Lusavoriç Kilisesi, İstanbul'daki Ermeni toplumunun dini, kültürel ve sosyal yaşamında önemli bir merkez olarak işlev görmüştür. Kilise, yalnızca bir ibadet yeri olmanın ötesinde, Ermeni toplumunun sosyal ve kültürel etkinliklerini gerçekleştirdiği bir buluşma noktası olarak hizmet sunmuştur. Bunun yanı sıra, bünyesindeki okul aracılığıyla uzun yıllar boyunca Ermeni çocuklarına eğitim verilmiş, böylece kültürel mirasın gelecek nesillere aktarılmasında kritik bir rol oynamıştır.

Ermeni Surp Krikor Lusavoriç Kilisesi, İstanbul'daki Ermeni toplumu için yalnızca bir ibadet yeri değil, aynı zamanda toplumsal dayanışma ve kimliğin önemli bir sembolü olmuştur. Özellikle 19. yüzyılın sonları ve 20. yüzyılın başlarında, Osmanlı İmparatorluğu'nda Ermeni toplumunun artan ayrımcılık ve baskılara maruz kaldığı bir dönemde, bu kilise toplumsal direnç ve dayanışmanın bir göstergesi olarak öne çıkmıştır. Kilise, Ermeni toplumunun zorluklara karşı varlığını sürdürme ve kültürel kimliğini koruma çabalarının somut bir ifadesi olarak dikkat çekmektedir.

4.2. Ortaköy Surp Krikor Lusavoriç Ermeni Katolik Kilisesi Mekansal Özellikleri

Surp Krikor Lusavoriç Kilisesi, mimarisiyle Roma bazilikalarını çağrıştıran bir tasarıma sahiptir ve yamuk dikdörtgen biçimindeki bir avlu içerisinde konumlanmıştır. Kiliseye güney ve batı cephelerinden erişim sağlanmaktadır. Batı cephesindeki giriş, çift kanatlı ahşap bir kapı aracılığıyla gerçekleşirken, güney cephesindeki giriş ise başlangıçta ahşap olarak tasarlanmış, ancak zamanla yıpranma nedeniyle demir kapı ile değiştirilmiştir. Simetri ilkesine uygun şekilde yarım daire formunda tasarlanan bu girişler, alması taş ve tuğla örme tekniğiyle inşa edilmiş bahçe duvarlarıyla çevrelenmiştir [18].



Görsel 1. Batı Giriş Cephesi Görünüşü, Serdar Kasap, 2018

2017 yılında yapılan restorasyon çalışmaları kapsamında, kilisenin avlusunun zemini taş döşeme ile yenilenmiştir. Avlu ile kilise zemini arasındaki kot farklılıklarının giderilmesi amacıyla, orta aks üzerinde yedi basamaklı bir merdiven, kuzey ve güney yönlerinde ise dörder basamaklı merdivenler tasarlanmıştır. Bu düzenleme, yapının işlevselliğini artırırken mekânsal bütünlüğünü korumayı amaçlamaktadır.

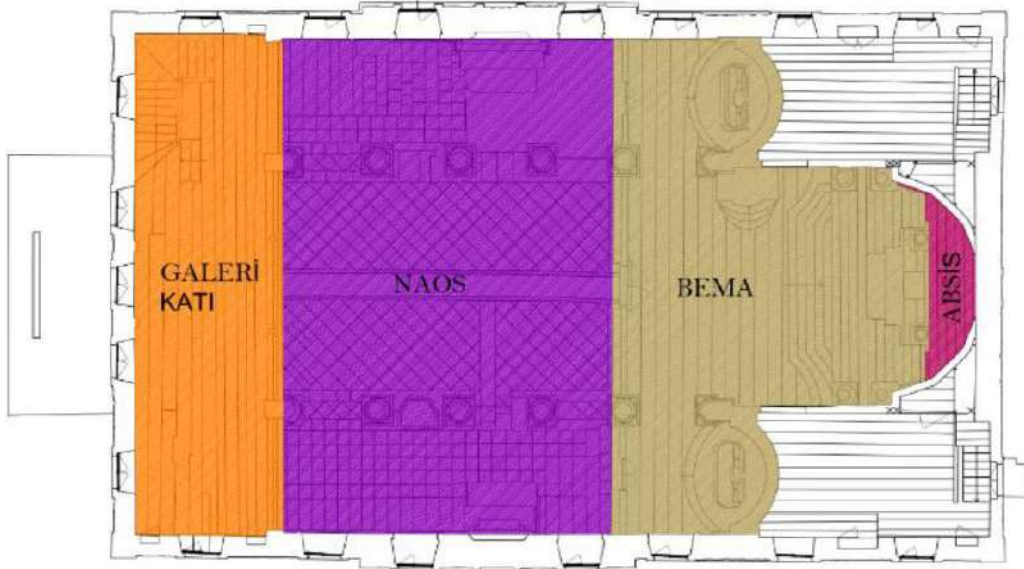


Görsel 2. Batı Cephesi Avlu Bahçesi, Serdar Kasap, 2018

Ziyaretçilerin kiliseye erişimi, avlunun batı cephesinde yer alan ana giriş kapısı üzerinden sağlanmaktadır. Zemin kat planında narteks, bema, naos ve apsis gibi litürjik öneme sahip temel mekânlar yer almaktadır. Üst katlarda yer alan galeri ve koro katlarına, narteksten başlayan ve ahşap malzeme ile inşa edilmiş merdivenler aracılığıyla ulaşılmaktadır. Bu mekânsal düzenleme, yapının litürjik işlevselliğini ve mimari organizasyonunu uyum içinde yansıtmaktadır.



Görsel 3. Yapının Bölümlerinin Zemin Kat Planında Gösterimi, Serdar Kasap, 2018



Görsel 4. Yapının Bölümlerinin Birinci ve İkinci Kat Planında Gösterimi, Serdar Kasap, 2018

Yapı, üç nefli bazilikal bir plana sahiptir ve 34x18,5 metre boyutlarında, 14 metre yüksekliğinde inşa edilmiştir. Kâgir yapıım tekniği kullanılarak inşa edilen yapının üst örtüsü, iç mekânda beşik tonoz, dış mekânda ise kırma çatı ile örtülmüştür. Zemin katta kilise dış girişi, narteks, naos, bema (koro alanı), apsis, vaftizhane ve muganniler için soyunma odası gibi mekânlar

bulunmaktadır. Birinci kat, ahşap merdivenlerle ulaşılan kadınlar galerisi ve apsis bölümünde yer alan amira odalarını içermektedir. Yapının çatı katında bir galeri daha bulunmaktadır [18].



Görsel 5. Yapının Bölümlerinin Kesit Üzerinde Gösterimi, Serdar Kasap, 2018

Yapının avlusunda, batı cephesinden başlayarak U biçiminde sıralanan beş müstemilat odası bulunmaktadır. Avlu içerisinde ayrıca bir çan kulesi, üzerinde "*Der Yervant Vartabed Sevyan otuz altı yıllık ruhsal önderlik etkinlikleri için tarikatın üyeleri bu anı taşıyı koydular*" yazılı bir anı taşı ve bir vaftiz kurnası yer almaktadır. Bu unsurlar, yapının dini ve sosyal işlevselliğini destekleyen önemli mimari ve sembolik öğelerdir.

4.3. Restitüsyon ve Onarımı İçin Önerilen Müdahaleler

Ortaköy Surp Krikor Lusavoriç Ermeni Katolik Kilisesi'nin restorasyon sürecinde, yapının tarihi ve kültürel bütünlüğünün korunabilmesi amacıyla kapsamlı bir kaynak taraması yapılmıştır. Bu bağlamda, Beşiktaş-Ortaköy bölgesinin tarihsel gelişimine dair haritalar, yapının evrimini ve geçirdiği değişiklikleri daha iyi anlayabilmek için önemli bir referans kaynağı olmuştur. Dönemin fotoğrafları ve yazılı belgeler, yapının özgün mimari özelliklerini belirleyebilmek adına kritik bir rol oynamıştır. Özellikle Hovhannes J. Tcholakian'ın *L'eglise Armenienne Catholique En Turquie* adlı eseri, restitüsyon önerilerinin bilimsel temele oturtulmasında önemli bir kaynak sağlamaktadır. Bu veriler doğrultusunda, kilisenin tarihsel süreçte geçirdiği değişiklikler ve mekân üzerindeki izler dikkatle incelenmiş ve restitüsyon projesi geliştirilmiştir. Çalışma, yapının çevresiyle olan ilişkisini ele alan bir vaziyet planı analizi ile başlamış, ardından iç mekândaki bezeme unsurlarına yönelik özgün korunma ve yeniden düzenleme önerileri sunulmuştur.

Surp Krikor Lusavoriç Ermeni Katolik Kilisesi, inşa edildiği ilk günden itibaren kilise fonksiyonunu sürdürmüştür. Çevresindeki sosyal yapının ve ihtiyaçların değişimi, kilisenin kullanım yoğunluğunda azalmaya yol açmıştır. İlk dönemlerde yoğun bir ziyaretçi kitlesine sahip olan kilisenin mevcut cemaat sayısı günümüzde yaklaşık otuz kişi ile sınırlıdır. Yapının yenilenmesine yönelik oluşturulan restorasyon projesi çerçevesinde, yapının özgün karakterine zarar vermeden, güçlendirme ve sağlamlaştırma işlemlerinin en uygun yöntemlerle

gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu süreç, kilisenin korunarak geleceğe taşınmasını sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda yapının ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğine katkı sunmayı da amaçlamaktadır.

Restorasyon sürecinde, Surp Krikor Lusavoriç Ermeni Katolik Kilisesi ve müştemilat yapıları için özgün yapı elemanlarının korunması amacıyla çeşitli müdahalelerde bulunulması öngörülmüştür. İlk olarak, müştemilat yapılarında mevcut kâgir beden duvarlarının korunması, ancak muhtes tuğla duvarların kaldırılması planlanmaktadır. Yapının özgün ahşap strüktürü, yeniden inşa edilecek ve kapalı olan kapı ve pencereler açılacaktır. Restitüsyon projesinde tasarlanan ahşap kapı ve giyotin pencerelerin, özgün tipolojisine uygun olarak yapılması öngörülmektedir. Kilise girişindeki ahşap kapı ve pencerelerin de özgün formlarına uygun şekilde yeniden üretilmesi önerilmektedir.

Kilisenin iç mekânında, mevcut pvc pencerelerin yerine restitüsyon projesi doğrultusunda özgün boyut ve formlarda ahşap giyotin pencereler yapılması beklenmektedir. Özgün zemin döşemelerinin korunması, muhtes gaz betonun kaldırılması ve yerine aynı formda taş döşeme yapılması planlanmaktadır. Mevcut ahşap döşemeler ve tavan kaplamalarının özgünlüğü korunacak, ancak nem ve rutubet nedeniyle oluşan bozulmaların onarılması gerektiği öngörülmektedir. Hasar görmüş kısımların özgün ahşap malzemelerle değiştirilmesi, diğer bozulmaların ise olduğu gibi korunması önerilmektedir.

Tonozlarda yapılacak her türlü işlem, uzman konservatör ve restoratörler tarafından gerçekleştirilecektir. Tavan kalem işlerine başlanmadan önce tavandaki çatlakların yerinde incelenmesi, uzman kişiler tarafından yapılacak değerlendirmelerle belirlenmesi beklenmektedir. Bezeme, fresk ve tuval onarımlarının da uzman restoratörler tarafından yapılması gerekmektedir. Ayrıca, zeminde görülen oturma çatlaklarının nedenlerinin belirlenmesi amacıyla, yapı içi ve çevresinde georadar çalışması yapılması önerilmektedir. Bu çalışmaların sonucunda, zemin etüdü ve temel araştırma kazıları ile yapı ile zemin arasındaki ilişkinin daha detaylı şekilde anlaşılması sağlanacaktır.

Kapı ve pencere sövelerinin temizlenip onarılması, mevcut Marsilya kiremitlerinin restorasyon sonrasında tekrar kullanılmasının uygun olacağı öngörülmektedir. Kilise yapısının sonradan sıvanan duvar yüzeylerinin sökülmesi ve özgün köşe taşlarının gün yüzüne çıkarılması önerilmektedir. Strüktürel bozulmalar nedeniyle ayakta duramayan çan kulesinin, restitüsyon projesine uygun olarak özgün tipolojisinde yeniden inşa edilmesi gerektiği öngörülmektedir. Bu önerilen müdahaleler, yapının tarihsel ve yapısal bütünlüğünü koruyarak, geleceğe taşınmasını sağlamayı hedeflemektedir.

4.4. Yeniden İşlevlendirme İçin Önerilen Müdahaleler

İstanbul'un Ortaköy ilçesinde yer alan Surp Krikor Lusavoriç Ermeni Katolik Kilisesi, sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda yeniden işlevlendirilmesi potansiyeline sahip önemli bir kültürel miras yapısıdır. Bu yapı, sadece tarihi ve kültürel değerlerin korunmasını sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda modern sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma açısından da önemli fırsatlar sunmaktadır. Yeniden işlevlendirme süreci, yapının özgün mimari karakterinin ve

tarihi dokusunun korunarak, çevresel, ekonomik ve toplumsal sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu bir şekilde uygulanmasını gerektirmektedir.

İstanbul'un Ortaköy ilçesinde yer alan Surp Krikor Lusavoriç Ermeni Katolik Kilisesi, sürdürülebilirlik prensipleri doğrultusunda bir kültür ve sanat merkezi olarak yeniden işlevlendirilebilecek bir yapı olarak değerlendirilebilir. Restorasyon sürecinde, enerji verimliliği sağlayan aydınlatma ve ısıtma sistemlerinin entegrasyonu, çevre dostu inşaat malzemelerinin kullanımı ve su tasarrufu sağlanacak önlemlerin uygulanması gibi temel sürdürülebilirlik kriterlerinin dikkate alınması öngörülmektedir. Bu tür bir müdahale hem yapının çevresel etkisini azaltmaya hem de toplum için ekonomik ve sosyal faydalar sağlamaya yönelik stratejik bir yaklaşım sunmaktadır. Önerilen stratejiler hem binanın tarihsel kimliğinin korunmasına hem de günümüzdeki kullanım ihtiyaçlarının karşılanmasına olanak tanıyacak şekilde tasarlanabilir.

Surp Krikor Lusavoriç Ermeni Katolik Kilisesi, sürdürülebilir bir kültür ve sanat merkezi olarak yeniden işlevlendirildiğinde, sanat sergileri, film gösterimleri, eğitim dersleri ve atölye çalışmaları gibi kültürel farkındalık ve eğitimi destekleyen etkinliklere ev sahipliği yapabilir. Bu tür programlar, sadece İstanbul'daki Ermeni toplumunun kültürel mirasını tanıtmakla kalmayıp, aynı zamanda şehrin daha geniş tarihsel ve kültürel bağlamına da ışık tutabilir. Bu yapı konserler, tiyatro gösterileri ve seminerler gibi farklı etkinlikler için kullanılacak bir mekâna dönüşebilir. Kilisenin avlusunda bulunan müstemilat alanları, çeşitli eğitim faaliyetlerine yönelik atölyeler olarak tasarlanabilirken, bahçe ve avlu alanlarında kafeterya ve dinlenme alanları oluşturulabilir. Bu tür bir dönüşüm, yapıyı hem yerli hem de yabancı turistler için cazip kılabilir, böylece yapının ekonomik ve sosyal açıdan katkı sağlaması mümkün hale gelir.

Kültür merkezinin uzun vadeli sürdürülebilirliğini garanti altına almak için, yerel toplumun sürece dahil edilmesi kritik bir öneme sahiptir. Bu, halkın geri bildirimlerinin alınması amacıyla kamu toplantıları düzenlemeyi ve merkezin yönetimi ve işletilmesi konusunda yerel paydaşlarla iş birliği yapmayı içerebilir. Böylece, toplumsal katılım teşvik edilerek, merkezin sürdürülebilirliği ve topluma sağladığı fayda artırılabilir.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Toplumların dönüşen dinamikleri, teknolojik ilerlemeler ve nüfus yoğunluğundaki artış, doğal kaynakların hızla tüketilmesine neden olmuş; bu durum sürdürülebilirlik kavramının hem kuramsal hem de pratik düzlemde önem kazanmasını beraberinde getirmiştir. Sınırlı doğal kaynakların tükenme tehlikesi, insanlarda gelecek kaygısını artırarak bilinçli tüketim ve koruma yöntemlerine yönelik politikaların geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu kapsamda, sürdürülebilirlik hedeflerinin temel odağı, mevcut kaynakların rasyonel yönetimi yoluyla gelecek nesillere aktarılabilirliğinin sağlanmasıdır.

Kültürel kimliği temsil eden tarihi yapılar, sürdürülebilirlik bağlamında yalnızca korunması gereken pasif unsurlar olarak değil, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınmaya etkin bir şekilde katkı sağlayabilecek aktif değerler olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, tarihi yapıların

çağdaş işlevlerle yeniden kullanıma kazandırılmasının sağladığı potansiyel faydalar ile bu süreçte karşılaşılan yapısal, sosyal ve çevresel zorluklar analitik bir yaklaşımla ele alınmıştır. Araştırma bulguları, kültürel mirasın korunmasının toplumsal kimliğin muhafazası açısından kritik önemde olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu yapıların eğitim, turizm ve sosyal etkileşim alanlarında önemli fırsatlar sunduğu ve toplumların kolektif hafızasını güçlendirdiği belirlenmiştir.

Tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesi süreci, enerji verimliliğinin artırılması ve karbon salınımının azaltılması gibi sürdürülebilir kalkınma hedeflerini destekleme potansiyeli taşımaktadır. Ancak, bu süreçte en büyük zorluklardan biri, yapıların tarihsel önemi ve mimari bütünlüğü ile modern kullanıma yönelik uyarlama gereklilikleri arasında bir denge sağlanmasıdır. Bu bağlamda, tarihi yapıların hem geçmişin mirasını saygıyla koruyan hem de geleceğe yönelik sürdürülebilirlik ilkelerine uyumlu olan bütüncül bir anlayışla ele alınması gerekmektedir.

Bu çalışma, tarihi yapıların sürdürülebilir kalkınma bağlamındaki rolüne dair yeni bir bakış açısı sunmayı amaçlamaktadır. Çalışmada, kültürel mirasın korunmasının yanı sıra çağdaş toplumsal ihtiyaçların karşılanması gerekliliği vurgulanmıştır. Örnek olay incelemesi olarak, Ortaköy Surp Krikor Lusavoriç Ermeni Katolik Kilisesi'nin sürdürülebilirlik bağlamında kültürel bir merkez olarak restorasyonu ve yeniden işlevlendirilmesi süreci incelenmiştir. Bu süreç, mimari koruma, kültürel mirasın sürdürülebilirliği, toplumsal fayda ve çevresel koruma gibi çok katmanlı bir yapıya sahiptir.

Surp Krikor Lusavoriç Ermeni Katolik Kilisesi'nin restorasyonunda karşılaşılan temel sorun, binanın tarihsel ve mimari bütünlüğünün korunması ile modern bir kültürel merkez işlevine uyarlanması arasındaki hassas dengenin sağlanmasıdır. Bu bağlamda, yapının orijinal tasarımının detaylı bir biçimde analiz edilmesi ve alanın kültürel, tarihsel ve sosyal bağlamdaki önemini yeniden değerlendirilmesi kritik öneme sahiptir. Bu tür girişimler, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesine yönelik model oluşturma potansiyeline sahiptir.

KAYNAKÇA

- [1] Ahunbay, Z., *Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon*, Yem Yayın, İstanbul, 2011.
- [2] Foner E., *Give Me Liberty!: An American History*, W.W. Norton & Company, 2013.
- [3] Tilly, C., *Historical Structures*, The Oxford Handbook of Historical Sociology (Eds. Joachim J. Savelsberg and Peter N. Stearns), Oxford University Press, 2008.
- [4] Hasol, D., *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*, YEM Yayınları, İstanbul, 2002.
- [5] Yıldız, E., *Anıtsal Yapıların Kullanım Sürecinde Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2013.

- [6] Zakar, L., ve Eyüpgiller, K.K., *Mimari Restorasyon Koruma Teknik ve Yöntemleri: Restorasyon Uygulamalarında Kullanılan Çağdaş Teknikler*, YEM Yayınları, İstanbul, 2018.
- [7] Gazi, A., & Boduroğlu, E., İşlev Değişikliğinin Tarihi Yapılar Üzerine Etkileri: Alsancak Levanten Evleri Örneği, *Megaron*, 10(1), s. 57-69, 2015.
- [8] Pekol, B., *İstanbul'da Yeni İşlevlerle Kullanılan Tarihi Yapıların Üslup Sorunsalı*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
- [9] WBDG (World Building Design Guide), <https://www.wbdg.org/>, (Erişim tarihi: 28.11.2024).
- [10] ICOMOS Türkiye Mimari Miras Koruma Bildirgesi, <http://www.icomos.org.tr/>, (Erişim tarihi: 27.11.2024).
- [11] Tutkun, M. ve İmamoğlu, E., *Mevcut Yapılar ve Tarihi Yapıların Yeniden Kullanıma Kazandırılmasında Ekolojik Yaklaşımlar ve Etkileri*, In: 2nd International Sustainable Buildings Symposium, pp. 592-599, 2015.
- [12] Smith, J., *Sustainability in Historical Buildings: Balancing Preservation and Progress*, *Journal of Architectural Conservation*, vol. 25, no. 3, pp. 213-232, 2020.
- [13] Zeren, M. T., *Tarihi Çevrede Yeni Ek ve Yeni Yapı Olgusu: Çağdaş Yaklaşım Örnekleri*, Yalın Yayıncılık, 2019.
- [14] Boarina, P., Guglielmino, D., Pisello, A.L., ve Cotana, F., *Sustainability Assessment of Historic Buildings: Lesson Learnt from an Italian Case Study through LEED® Rating System*, 6th International Conference on Applied Energy, Sciencedirect, 2014.
- [15] Vieites, E., Vassileva, I., ve Arias, J.E., *European Initiatives Towards Improving the Energy Efficiency in Existing and Historic Buildings*, 7th International Conference on Applied Energy, ScienceDirect, 2015.
- [16] Robertson, M., *Sustainability Principles and Practice*, Oxford University Press, 2015.
- [17] Johnson, A., *Sustainability and Ecological Design: An Integrative Approach to Architecture and Design*, *Journal of Sustainable Design*, vol. 12, no. 1, pp. 56-72, 2019.
- [18] Kasap, S., *Ortaköy Surp Krikor Lusavoriç Ermeni Katolik Kilisesi, Restorasyon Projesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.

ГЕЙМИФИКАЦИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ GAMIFICATION IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Sharmukhanbet Saltanat

PhD, Associate Professor, K. Dosmukhamedov Atyrau University, Department of Software Engineering, s.sharmukhanbet@asu-edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4417-0485>,

Gulnur Turmukhanova

Senior Lecturer, K. Dosmukhamedov Atyrau University, Department of Software Engineering, turmukhanovag@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8912-2746>

Nurgul Baytemirova

Senior Lecturer, K. Dosmukhamedov Atyrau University, Department of Software Engineering, bnb-84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1411-620X>,

Danagul Kudabayeva

Master Instructor, K. Dosmukhamedov Atyrau University, Department of Software Engineering, kudabaeva.dawa@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается концепция геймификации в современном образовательном процессе, а также ее преимущества, недостатки и факторы, влияющие на развитие данного подхода в обучении. Приведены примеры игровых ресурсов, используемых в образовательной практике. Автор акцентирует внимание на проблеме поиска и применения более эффективных методов обучения. Представлена структура исследования «Уровень удовлетворенности геймификацией в образовании», проанализированы полученные результаты и предложены рекомендации по внедрению геймификации в разработку образовательных курсов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Квесты, геймификация, методы обучения, образовательная среда, навыки, учебный процесс.

ANNOTATION

The article examines the concept of gamification in the modern educational process, as well as its advantages, disadvantages and factors influencing the development of this approach in teaching. Examples of game resources used in educational practice are given. The author focuses on the problem of finding and applying more effective teaching methods. The structure of the study "The level of satisfaction with gamification in education" is presented, the results obtained are analyzed and recommendations for the introduction of gamification in the development of educational courses are proposed.

KEYWORDS: Quests, gamification, teaching methods, educational environment, skills, learning process.

Введение

Gamification, or the application of game elements in non-game contexts, is becoming one of the trending methods in education. In the educational environment, gamification aims to enhance student engagement and motivation, helping them actively participate in the learning process and absorb the material more effectively.

The psychological effect of gamification is driven by its ability to stimulate intrinsic motivation. Game elements create an environment where students feel engaged and interested in the learning process, which, in turn, reduces anxiety and stress often associated with traditional teaching methods. Through gameplay, students are more likely to perceive learning tasks as opportunities for growth rather than mandatory assignments.

The use of gamification to stimulate active student learning reflects modern approaches to higher education. The integration of virtual games represents a significant shift in information culture towards the Internet and is particularly relevant today, as this method enhances student engagement and active participation. Gamification fosters critical thinking on current topics, prepares students for careers in the tech sector, and helps educational institutions address challenges related to motivation and engagement [1].

In addition to addressing educational tasks, the skills developed through gameplay, such as foresight, recursive thinking, and information structuring under time constraints, align with priority educational competencies and skills [2]. Gamification methods, based on active learning principles, serve as an alternative to passive information absorption and promote active student engagement. This study presents the results of surveys reflecting the methods of application and the impact of gamification.

Gamification of the educational process has become particularly significant in the 21st century. O.V. Orlova and V.N. Titova from Tomsk State Pedagogical University, explaining the reasons for implementing gamification in pedagogy, emphasize the natural human need for play. Play, alongside work and learning, has always been one of the key forms of human activity [3]. This was also noted by the Dutch philosopher Johan Huizinga. A similar position was held by V.P. Varenina, Associate Professor of the Department of Foreign Languages at MESI [4].

G.P. Shchedrovitskiy [5] argued that it is play, with its conditionality, structural ambiguity, and variability, that fosters collective cognitive activity. Play allows participants to complete tasks in a free, creative form, where deviations and mistakes are possible without the fear of failure. The successful application of game-based methods in education is discussed in detail by Lee Sheldon in his book *The Multiplayer Classroom* [6].

Thus, the analysis revealed a large number of official sources—articles, projects, textbooks, and recommendations—dedicated to gamification. This indicates the relevance of the topic and widespread interest in game-based learning methods. Today, the solution to many pedagogical tasks is closely connected with digital educational technologies. Gamification is one of the promising areas for the application of information technology in the educational process.

The educators of the 21st century face the need to find more effective teaching methods to achieve high results. Gamification, as a game-based method, helps to improve the efficiency and quality of the educational process.

The practical part of the study aimed to identify gamification methods for their application in higher education. In addition to analyzing scientific literature, interviews and surveys were conducted with students enrolled in the Bachelor's program in "Applied Informatics in Design."

Research questions:

1. What gamification methods are used by educators in higher education?

2. How do instructors use gamification to enhance student engagement and motivation?
3. How does gamification impact the academic performance of university students?

The participants' responses were recorded and analyzed for further processing. To increase the reliability of the results, matches and differences in the answers were studied. Through inductive comparison, categorization, and identification of main themes, key relationships were revealed. The final topics of the interview are formulated and presented below.

A total of 68 students from Master's programs in "Pedagogical Education" participated in the survey. Data was collected during the 2023/2024 academic year. B. Berk [7] notes that the value of gamification is realized through teachers who recognize its significance. According to the author, the main obstacle to the successful implementation of gamification lies in the lack of skills in working with gaming methods.

The study participants discussed the processes of defining, managing, measuring, designing and personalizing game mechanics when introducing gamification into the educational process.

The participants of the experiment characterized gamification as an interactive and immersive tool aimed at activating their participation in the educational process and increasing learning motivation. Table 1 provides definitions related to the design of gamification methods.

Table 1

Definition of gamification

Definition	Percentage distribution
"The application of design principles specific to games, but with a purpose other than gaming."	88,7%
"Game elements, for example, a system of points, ratings or awards (badges)."	71,5%
"An educational process aimed at activating students' learning activities, moving from productive to more creative thinking, as well as applying the knowledge gained in real life."	59,3%
"A method that allows you to bring real work activity into the learning process, helping students not only to read and listen to lectures, but also to actively participate in learning."	57,4%
"Students' choice of teaching method, including key elements of tasks and actions."	43,9%
"Important changes in the system that not only have value, but are also adapted to what and how the student wants to study."	35,6%
"Providing students with a choice focused on shaping their own learning trajectory and achieving success."	29,7%

The participants of the study identified key aspects in defining gamification. Similar to how K. Werbach [8] views gamification as an academic framework that integrates game mechanics into the educational process, the Master's students emphasized that gamification fosters educational autonomy, independence, and personal control. All participants in the experimental group noted in their responses that game-based principles are focused on active learning.

The use of a grading system to measure learning outcomes turned out to be the most common method of student assessment. Although most respondents gamified the content of individual courses, some noted the need to apply gamification to the entire educational

process, while acknowledging that students primarily focus on grades. As an alternative, respondents proposed the creation of a virtual interactive game environment that motivates participants to interact and allows students to showcase their achievements during the learning process. Another strategy for applying gamification to motivation was also suggested, with exams and grades being used to assess the quality of students' work. Table 2 presents data on the gamification of the educational process, collected from the study participants.

Table 2

Evaluating the educational process through gamification

Assessment of the educational process	Percentage distribution
"Can be done inside or outside the game system"	89,3%
"Learning outcomes cannot be measured by gamification"	87,6%
"I consider the use of gamification for measuring learning outcomes inappropriate."	71,9%
"The game exists solely to teach."	60,1%
"Points have been allocated according to the rubric for assessing students."	50,1%

The ability of participants to effectively overcome challenges in the classroom requires the continuous updating and improvement of gamification methods. Table 3 presents the respondents' evaluation of gamification methods and experiences in terms of student engagement. Overall, the subjects view gamification as a beneficial complement to the lecture-seminar system, suitable for various types of learners. Feedback and demonstration of learning outcomes contribute to the successful integration of gamification into the educational process.

Table 3

Evaluation of Gamification

Evaluation	Percentage distribution
"Applications to real-world scenarios"	87,9%
"Students are more willing to engage with games than with regular assignments."	75,6%
"Well-thought-out assessments by the instructor and students"	70,2%
"It is important to use interaction between learners, as this aspect is usually given little attention in traditional education."	61,8%
"Flexibility in assignments and higher grades for students in a gamified educational process"	56,8%
"Changing the rules may cause dislike and alienation among students."	50,6%
"Creates a sense of impartiality"	41,2%
"Some students prefer the traditional lecture-seminar approach."	37,5%

The results showed that the use of game mechanics in gamification helps activate student participation, engagement, and motivation. In an effort to increase student involvement in the learning process, participants implemented elements of game technologies to create an intensive study of the course subject. Through the practical application of gamification elements, including personal and social interactions in the classroom and exposure to real-world work activities, a positive effect was observed: students actively participated in discussions, showed higher results in coursework, and experienced greater enjoyment from the learning process.

Thus, the game-based methods used in educational programs resonate with students. Modern youth values the implementation of gamification in the educational process, as it makes learning engaging and interesting. Based on the data obtained, it can be confidently stated: the power is in games. They have the potential to significantly improve the quality of education in the era of innovation, where the real and virtual worlds merge into one.

This article was prepared within the framework of the intra-university research project 0124RKI0197 "integrated learning technologies: robotics, 3D modeling and gamification in the educational process", implemented in 2024 by the Ministry of Science and higher education of the Republic of Kazakhstan.

Bibliographic list

1. Lee, J.J., Hammer, J. Gamification in education: what, how, why bother? // Acad. Exch. Q. 15 (2), 146 (2011). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3714308>.
2. Pillay, H. An investigation of cognitive processes engaged in by recreational computer game players: implications for skills of the future // J. Res. Technol. Educ. 34(3), 336–350 (2002). doi:10.1080/15391523.2002.10782354.
3. Bystrova N.V., Urakova M.N., Ermolayeva E.L., Digital Technologies in the Educational Space // Professional Self-Determination of Youth in an Innovative Region: Problems and Prospects, 2020. P. 88–91.
4. Zinovyeva S.A., Zakharova N.A. Electronic Learning Environment as a Means of Enhancing the Effectiveness of Independent Student Work // Problems of Contemporary Pedagogical Education. 2020. No. 69-1. P. 108–111.
5. Varenina L.P. Gamification in Education // Historical and Folk Education. 2019. No. 6-2. P. 314–317. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22981456> (accessed: 20.05.2018).
6. Gaft E. Gamification in Education // What Was to Be Proven. 2016. No. 2 (12). P. 24–40. URL: <https://4td.fm/article/geymifikatsiya-v-obrazovanii> (accessed: 20.12.2018).
7. Burke, B. Gamify: how gamification motivates people to do extraordinary things. Bibliomotion, Brookline (2014).
8. Werbach, K. (Re)Defining gamification: a process approach // Spagnolli, A., Chittaro, L., Gamberini, L. (eds.) Persuasive Technology, pp. 266–272. Springer, Switzerland (2014).

TARİHİ KÖPRÜLERİN KORUNMASI VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN ANALİZİ: BİLECİK-BAŞKÖY, KEMER KÖPRÜ ÖRNEĞİ

Dr. Öğr. Üyesi Serdar KASAP¹

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,
serdar.kasap@bilecik.edu.tr - 0000-0002-7847-3284

Doç. Dr. Parisa GÜNEŞ²

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,
parisa.goker@bilecik.edu.tr - 0000-0001-8876-2621

Arş. Gör. Adiva Begül BULUT³

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,
begul.bulut@bilecik.edu.tr - 0000-0002-0135-1780

Yüksek Mimar, GİZEM SERİ

YEŞİL⁴

⁴ gizem.serii@gmail.com 0000-0002-4226-
7024

ÖZET

Tarihi köprüler, inşa edildikleri dönemin mimari, mühendislik ve estetik anlayışını yansıtan önemli kültürel miras unsurlarıdır. Bu çalışmada, Bilecik'in Merkez İlçesi'ne bağlı Başköy'de yer alan Kemer Köprü'nün yapısal özellikleri incelenerek, köprü üzerinden tarihi köprülerin korunması değerlendirilmiştir.

Kemer Köprü, mimari tasarımı ve kullanılan malzemeleriyle bölgenin karakteristik özelliklerini yansıtmaktadır. Çalışmada köprünün mimari detayları, yapısal dayanıklılığı, malzeme özellikleri ve çevresel etkiler karşısındaki durumu detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Ayrıca köprünün karşı karşıya olduğu doğal faktörler ve insan kaynaklı tehditler değerlendirilmiş, bu sorunlara yönelik çözüm önerileri geliştirilmiştir. Koruma çalışmalarında özgün tasarım ve yapısal bütünlüğün korunmasının yanı sıra, modern mühendislik yöntemleriyle sürdürülebilirlik ilkesinin bir arada gözetilmesi gerektiği vurgulanmış; koruma ile restorasyon süreçlerine dair öneriler geliştirilmiştir.

Bu çalışma, Başköy Kemer Köprü'nün yalnızca bir mühendislik yapısı olmadığını, aynı zamanda bölgenin sosyal ve kültürel hafızasını yansıtan bir kimlik taşıdığını ortaya koymaktadır. Tarihi köprülerin korunması, geleceğe aktarılmaları açısından bir gereklilik olup; özgünlük, sürdürülebilirlik ve toplum bilincini temel alan yaklaşımların benimsenmesiyle mümkün olabileceği ifade edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tarihi köprüler, Kemer Köprü, Kültürel miras, Yapısal analiz, Sürdürülebilirlik ilkeleri

1. GİRİŞ

Tarihsel süreçte, insanların yaşam kalitesini artırma ve ulaşım süreçlerini kolaylaştırma amacı güderek, dönemin mevcut teknolojik ve mühendislik imkanlarıyla köprüler inşa edilmiştir. Bu yapılar, tarihi mirasın önemli örnekleri arasında yer almakta olup, günümüze ulaşmayı başaran pek çok köprü, kültür ve mühendislik açısından önemli değere sahiptir. Köprülerin önemi, özellikle doğal engelleri aşarak kara parçalarını birbirine bağlama işlevinden kaynaklanmaktadır. Su, arazi, çukur ve benzeri engelleri aşmak amacıyla inşa edilen bu yapılar, ulaşım altyapısının temel unsurları arasında yer almıştır.

Tarihi köprüler, inşa edildikleri dönemin kültürel mirasının bir parçası olmanın ötesinde, aynı zamanda bölgesel ulaşımın ayrılmaz bileşenleri olmuştur. Yeryüzünün jeolojik yapısı nedeniyle çeşitli doğal afetlere maruz kalan bu yapılar, uzun ömürlü ve sağlam olmaları açısından korunmaya ihtiyaç duymaktadır. Bu bağlamda, incelenen tarihi köprüler, yığma duvar sistemleriyle inşa edilerek, kemerler, temeller, dolgu ve tempan duvarları gibi yapısal ve yapısal olmayan unsurlardan oluşmaktadır [1].

2. TARİHİ KÖPRÜLERİN YAPISAL VE MİMARİ ÖZELLİKLERİ

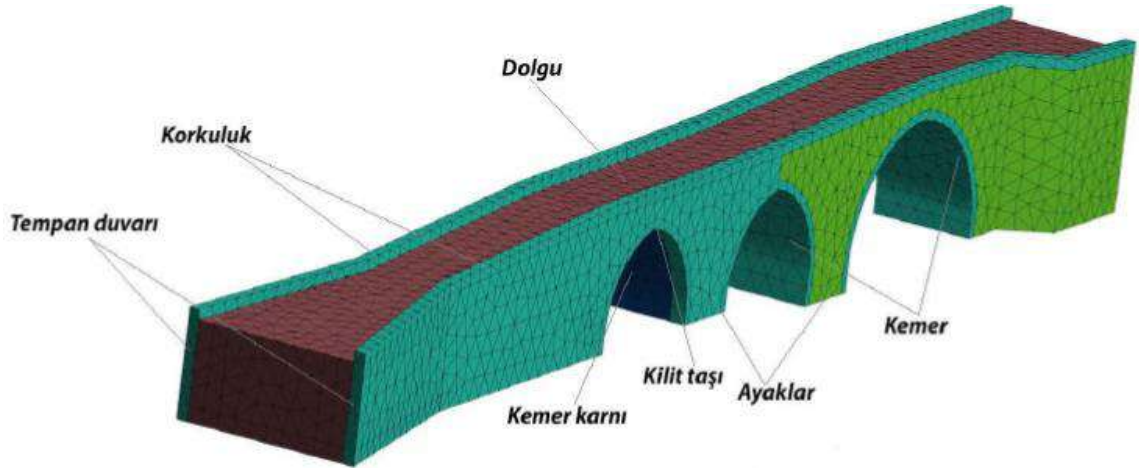
2.1. Tarihi Köprülerin Yapısal Temelleri ve Genel Özellikleri

Tarihi köprüler, insanlığın mühendislik ve estetik birikimini yansıtan en eski ve en değerli yapılar arasında yer almaktadır. Farklı coğrafî, kültürel ve teknolojik koşullara bağlı olarak çeşitlenen bu yapılar, zaman içerisinde malzeme teknolojilerindeki ve yapım tekniklerindeki ilerlemeler doğrultusunda gelişerek günümüze ulaşmıştır. Köprüler, yalnızca ulaşım ve geçiş işlevini yerine getiren yapısal elemanlar olmanın ötesinde, inşa edildikleri dönemin sosyo-kültürel, ekonomik ve teknolojik özelliklerini yansıtan somut kültürel miras unsurlarıdır. Medeniyetler arasındaki etkileşimin bir göstergesi olarak, geçmişten günümüze uzanan birer tarihsel belge niteliği taşımaktadırlar. Bu nedenle tarihi köprüler hem yapısal özellikleri hem de kültürel ve tarihsel değerleri bakımından korunması ve bilimsel açıdan detaylı bir şekilde incelenmesi gereken önemli eserlerdir.

Köprüler, akarsular, dereler ve vadiler gibi doğal engellerin aşılması amacıyla inşa edilen; ahşap, kâgir veya demir malzemelerden yapılan, ayaklar ve kemerler üzerine oturtulmuş mühendislik yapılarıdır. Zaman içerisinde teknik gelişmelerin ve estetik kaygıların etkisiyle

köprülerin yapısal ve görsel nitelikleri önemli ölçüde gelişmiş ve çeşitlenmiştir. Anadolu, tarihsel süreçte farklı medeniyetlere ev sahipliği yapmış olup, bu nedenle birçok tarihi köprüyü barındıran zengin bir kültürel mirasa sahiptir. Bu köprülerin en belirgin yapısal ögesi, basınç kuvvetine karşı yüksek dayanıklılık sağlayan kemer sistemidir. Kemer yapıları, geniş açıklıkların geçilmesine olanak tanıyan bir mühendislik çözümü olarak, tarihi köprülerin temelini oluşturmakta ve bu köprüler isimlerini de bu yapısal özelliklerinden almaktadır. Dolayısıyla, tarihi köprüler yalnızca teknik birer yapı değil, aynı zamanda dönemlerinin mühendislik birikimini ve estetik anlayışını yansıtan önemli kültürel miras öğeleridir [2].

Köprülerin ana taşıyıcı elemanları, yapısal bütünlüğün temelini oluşturan temeller, tempan duvarları, kemerler ve döşemelerden meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra, taşıyıcı elemanlara ek olarak köprülerde mimari ve işlevsel öğelere de rastlanmaktadır. Bu öğeler arasında baba taşı, çörten, korniş, korkuluk, hafifletme gözü, hafifletme odacığı gibi detaylar yer almakta olup, yapının mühendislik performansını desteklemekle birlikte estetik niteliklerini de ön plana çıkarmaktadır. Ayrıca, selyaranlar suyun akış yönünü kontrol ederken, seyir terasları kullanıcılara duraklama ve gözlem imkânı sunmaktadır. Kitabeler ise köprünün tarihsel ve kültürel kimliğini belgeleyen önemli unsurlar olarak değerlendirilmektedir [3].



Görsel 1. Köprü Sisteminin Yapısal Bileşenleri, [4]

Temeller; yapının kendi ağırlığını ve dış etkenlerden kaynaklanan yükleri güvenli bir şekilde zemine aktaran ve yapı ile zemin arasında mekanik bir bağ oluşturan temel taşıyıcı elemanlardır. Temel sisteminin tasarımında ve inşasında, zemin özellikleri ile yapıya etki eden yüklerin büyüklüğü belirleyici faktörlerdir. Bu doğrultuda, yüzeysel ve derin temel tipleri, zemin koşullarına ve yük dağılımına uygun olarak tercih edilmektedir. Güvenli bir temel sistemi oluşturmak amacıyla, temel kazılarının zemin taşıma kapasitesini sağlayacak sağlam bir tabakaya kadar ulaştırılması gereklidir.

Ayaklar; köprünün kemer sisteminin düzgün bir şekilde oturmasını sağlamak amacıyla büyük kolonlar şeklinde tasarlanmış taşıyıcı elemanlardır. Özellikle birden fazla kemere sahip düz köprülerde, orta ayaklar, yapının taşıyıcı kapasitesinde merkezi bir rol

oynamaktadır. Sağlam zeminler üzerinde inşa edilmiş köprülerde, orta ayaklar, aşırı su taşkınları gibi doğal olaylar sırasında suyun hareketini yönlendirerek hidrolik işlevleri yerine getirmektedir. Köprünün kenarlarında yer alan yan ayaklar ise, köprünün bitiş noktalarındaki duvarları destekleyerek yapısal stabiliteyi güçlendirmektedir [5]. Ayaklar, köprünün genel taşıma kapasitesinin yanı sıra, yapısal güvenliğini sağlayan önemli elemanlar olarak işlev görmektedir.

Tempan duvarlar; kemer köprülerin taşıyıcı yapı elemanları arasında yer alan taş duvarlardır. Bu duvarlar, köprünün mansap (yukarı akış) ve memba (aşağı akış) kısımlarını birbirinden ayıran işlevsel bir role sahiptir. Ayrıca, çevre taşları üzerine inşa edilerek, köprü gözünü kıyıya bağlayan yapısal elemanlar olarak da görev yapmaktadır. Tempan duvarlar, köprünün stabilitesini sağlamak ve yapı üzerindeki yükleri dağıtarak taşıma kapasitesini artırmak için kritik bir öneme sahiptir.

Kemerler; köprü ayakları üzerinde yer alan ve ayaklar arasındaki boşluğu geçmek amacıyla, yay şeklinde tasarlanmış bir yapısal elemandır. Mimari yapılarda geniş açıklıkların geçilebilmesi için genellikle kemer, kiriş ve lento gibi taşıyıcı elemanlar tercih edilmektedir. Bu bağlamda kemerler, duvarlar ya da iki taşıyıcı ayak arasındaki açıklıkları eğrisel bir formda örtebilmek amacıyla tasarlanmaktadır. Eğrisel yapıları sayesinde, kemerler üzerlerine binen yükleri etkili bir şekilde dağıtarak zemine güvenli bir biçimde aktarabilmektedir [6]. Bu nitelikler, kemerleri hem mimari hem de mühendislik perspektifinden önemli bir taşıyıcı sistem elemanı yapmaktadır.

Korkuluk; köprü tabliyesinin her iki yanında yer alarak geçiş sırasında güvenliği sağlamak amacıyla inşa edilen yapısal elemanlardır. Bu elemanlar, köprünün iki tarafında ve tempan duvarlarının üzerinde yükselerek hem yapısal hem de işlevsel bir görevi yerine getirir.

2.2. Tarihi Köprülerde Kullanılan Malzemeler

Yol yapıları olarak inşa edilen köprülerde, malzeme seçimleri, yapının dayanıklılığı ve işlevselliği üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Bu yapılar, taşıma kapasitesini ve dayanıklılığını artırmak için doğru malzemelerle inşa edilmelidir. Sürekli aşınmaya ve çevresel etkilere maruz kalan köprülerin, dayanıklı malzemelerle yapılması kritik bir öneme sahiptir.

Tarihi yapılar, genellikle metalik özelliği olmayan doğal malzemelerle inşa edilmiştir. Bu yapılarda yaygın olarak kullanılan malzemeler arasında tuğla, ahşap ve doğal taş bulunur. Bu malzemeler, yapının taşıma kapasitesini, dayanıklılığını ve estetiğini etkileyen unsurlardır. Ahşap köprüler zamanla, su, yangın ve diğer çevresel etmenlerle daha hızlı bozulmuş, bu yüzden sayıları oldukça azalmıştır. Bu durum, köprülerin inşa malzemelerinin zaman içinde dayanıklılık açısından önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Tuğla; kil ve suyun harmanlanarak yüksek sıcaklıklarda birleştirilmesiyle elde edilen bir yapı malzemesidir. Tarih boyunca kolay üretilebilir olması ve düşük maliyetli yapısı sayesinde inşaat sektöründe sıklıkla tercih edilmektedir. Tarihi süreçte, ilk çağlarda tuğla üretimi kerpiç malzemesinin güneş ışığı altında kurutulması yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Ancak bu yöntemle üretilen tuğlaların yağmur suyuna karşı dayanıklılığının düşük olması, pişirme tekniğine geçişi zorunlu kılmıştır. Günümüzde tuğlalar, dayanıklılıklarını artırmak amacıyla 1000°C'ye kadar çıkan sıcaklıklarda pişirilmektedir. Tuğla üretiminde ana malzeme olarak kil kullanılmakta olup, dayanım özellikleri pişirme süresi ve içerdikleri boşluk oranıyla doğrudan ilişkilidir [7]. Tuğlaların ihtiyaç duyulan boyutlarda kolaylıkla üretilmesi, onları yapı malzemesi olarak daha cazip hale getirmektedir.

Basınç Dayanımı (Mpa)	Kayma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)
10-30	10-20	2.7-5

Görsel 2. Tuğlaların Nitelikleri, [8]

Ahşap; geçmişten günümüze, yapı malzemesi olarak tercih edilen ve doğal özellikleriyle öne çıkan bir bileşiktir. Kolay temin edilebilmesi, hafifliği ve işlenebilirliği, ahşabın inşaat süreçlerinde sıkça kullanılmasını sağlamıştır. Yüksek çekme ve basınç dayanımına sahip olan ahşap, özellikle taş malzeme ile geçilemeyen geniş açıklıkların aşılmasında etkin bir çözüm sunmuştur.

Fiziksel hafifliği ve kolay işlenebilirliği sayesinde, ahşap büyük açıklıkların geçilmesinde önemli bir yere sahiptir. Yığma kâgir yapılarda döşeme ve tavan sistemlerinde taşıyıcı bir malzeme olarak kullanılan ahşap, eğilme ve çekme dayanımı yüksek olduğu için duvar yapılarında da tercih edilmiştir [9]. Bu özellikleri, ahşabın tarihsel yapılarda vazgeçilmez bir yapı elemanı olmasını sağlamıştır.

Dayanım Türü	Liflere olan yönü	I.Sınıf (Mpa)		II.Sınıf (Mpa)		III.Sınıf (Mpa)		Elastisite Modülü (Gpa)	
		Çam	Kayın (Meşe)	Çam	Kayın (Meşe)	Çam	Kayın (Meşe)	Çam	Kayın (Meşe)
Çekme	Paralel	-	-	8.5	10.0	10.5	11.0	1.0	12.5
Basınç	Paralel	6.0	7.0	8.5	10.0	11.0	12.0	1.0	12.5
Basınç	Dik	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0	0.3	0.6

Görsel 3. Ahşabın Teknik Nitelikleri, [10]

Doğal taş; tarihteki en eski ve en yaygın biçimde kullanılan yapı malzemelerinden biri olarak kabul edilip, dayanıklılığı ve doğadan kolayca temin edilebilmesi gibi avantajlarla erken dönemlerden itibaren tercih edilmiştir. Taş malzemelerinin yapısal özellikleri, özellikle basınç dayanımının yüksek olması nedeniyle, genellikle kubbe, tonoz ve kemer gibi yapılar için ideal hale getirmiştir. Ancak taşların çekme dayanımı düşük olduğundan, bu malzemeler basınca maruz kalan elemanlar için daha uygun olmuştur. Bu sebeple, kemerler gibi yapısal elemanlar, üzerlerindeki yükü verimli bir şekilde zemine iletmek amacıyla taş malzemesi kullanılarak inşa edilmiştir [11].

Tarihi yapılarda kullanılan taş malzemeler genellikle metamorfik, tortul ve magmatik kayalardan oluşmaktadır. Bu tür taşlar, işlenebilirlikleri ve dayanıklılıkları nedeniyle tarihsel yapılarda tercih edilmiştir. Özellikle granit, andezit ve bazalt gibi magmatik kayalar ile kalker, kum taşı ve traverten gibi tortul kayalar, tarihi yapılar için yaygın olarak kullanılmıştır. Bu taşlar, dış etkenlere karşı gösterdikleri dayanıklılık ve uzun ömürlülükleriyle dikkat çekmektedir [12].

Doğal taşların uzun süreli kullanımına rağmen zamanla bozulma, aşınma ve çatlama gibi olumsuz etkiler gözlemlenebilmektedir. Bu nedenle, taşların dayanıklılık özelliklerinin yapısal bütünlük açısından düzenli olarak değerlendirilmesi, tarihi yapılar için önemli bir gerekliliktir [11]. Bu bağlamda, taş malzemesinin yapısal performansı hem estetik hem de fonksiyonel açıdan tarihi yapıların sürdürülebilirliğini sağlamada kritik bir rol oynamaktadır.

Taşın Cinsi	Elastite Modülü KPa	Basınç Dayanımı KPa	Çekme Dayanımı KPa
Kireç Taşı	10x10 ⁶ -55x10 ⁶	18000-35000	2000-6000
Kum Taşı	13x10 ⁶ -50x10 ⁶	5000-30000	2000-4000
Kuvars	15x10 ⁶ -55x10 ⁶	10000-30000	3000-4000
Granit	30x10 ⁶ -55x10 ⁶	30000-70000	4000-7000
Mermer	25x10 ⁶ -70x10 ⁶	25000-65000	1000-15000

Görsel 4. Doğal Taşların Nitelikleri, [8]

Harçlar; Yapı elemanlarının bir bütün olarak çalışmasını sağlayan harçlar, bağlayıcı ve dolgu malzemelerinin belirli oranlarda karıştırılıp su eklenmesiyle elde edilen önemli yapı malzemeleridir. Bağlayıcı bir malzeme ile suyun uygun miktarlarda karıştırılmasıyla oluşan bu malzemeler, yapı elemanlarının bir arada tutularak dayanıklılığın artırılmasında kritik bir rol oynar. Ünay'a göre harçlar, yapı elemanlarının bir bütünlük içinde işlev görmesini sağladıkları için yapı sektöründe vazgeçilmez bir öneme sahiptir [13].

Tarihi yapılarda dayanıklılığı artırmak amacıyla, bağlayıcılar ve agreganın yanı sıra puzolanik katkı maddelerinin kullanımı oldukça yaygındır. Bu katkı maddeleri, doğal ya da sentetik kaynaklardan temin edilebilir. Doğal puzolanların kullanıldığı harçlar “puzolanik harç” olarak adlandırılırken, yapay puzolanların (örneğin seramik ve tuğla kırığı) yer aldığı harçlar farklı kültürlerde özel isimler almıştır. Oğuz'un belirttiği üzere, Roma ve Bizans döneminde bu tür harçlar “Roman harcı” olarak adlandırılırken, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde “Horasan harcı” olarak isimlendirilmiştir. Horasan harcı adını, rengi ve dokusunun horasan toprağına benzemesinden almıştır [14].

Sıva; yapı elemanlarının çevresel etkilerden korunmasını sağlamak ve yüzeye estetik bir görünüm kazandırmak amacıyla kullanılan bir kaplama malzemesidir. Aynı zamanda, ısı ve su yalıtımı gibi işlevleri desteklemek için de tercih edilmektedir. Yüksek yapışkanlık özelliği sayesinde, uygulandığı yüzeye uygun bir uyum sağladığında uzun süre boyunca dayanıklılığını muhafaza edebilir [4].

Katkı Maddeleri; harçların fiziksel ve kimyasal özelliklerini geliştirmek amacıyla tarih boyunca çeşitli organik ve inorganik maddeler kullanılmıştır. Priz süresini kısaltmak için yumurta akı, süt ve domuz yağı; su yalıtımını artırmak için keten tohumu yağı, arap sabunu ve hayvansal yapıştırıcılar; dayanıklılığı güçlendirmek için ise incir sütü, keten lifi ve hayvan kılları gibi malzemeler tercih edilmiştir. Kullanılan maddelerin seçimi, genellikle dönemin çevresel koşulları ve yerel kaynakların erişilebilirliği ile şekillenmiştir [15-16].

Agrega; Agregas, kum ve çakıl veya kırma taş karışımından oluşan taneli bir malzemedir. Şekil olarak iri, küçük, kübik, iğne veya küresel formda bulunabilir. Agregalar, kireçle reaksiyona girip puzolanik özellik gösteren (silikatlar ve alüminatlardan oluşan) ve girmeyen (etkisiz) olarak sınıflandırılabilir. Puzolanik agregalar, harçların her ortamda kurummasını ve sertleşmesini sağlayan asidik özelliklere sahip malzemelerdir. Yapılarındaki mineraller, ana kayaçlarının özelliklerini yansıtır.

3. TARİHİ KÖPRÜLERİN KORUNMASI VE RESTORASYONUNUN GENEL ÇERÇEVESİ

3.1. Tarihi Köprülerin Korunmasının ve Restorasyonunun Temel İlkeleri

Tarihi köprüler, mühendislik bilgisi, estetik anlayışı ve toplumsal yapıları yansıtan önemli kültürel miraslardır. Bu yapılar, yalnızca dönemin teknolojisini değil, aynı zamanda o dönemin ekonomik, toplumsal ve kültürel dinamiklerini de ortaya koyar. Yerel kimliğin şekillenmesinde merkezi bir rol oynayan tarihi köprüler, aynı zamanda mühendislik ve inşaat tekniklerine dair önemli veriler sunar. Zamanla doğal aşınma, iklimsel değişiklikler veya insani müdahaleler sonucu hasar görebilen bu yapılar, restorasyon süreçlerine tabi tutulur. Restorasyon, yalnızca yapının fiziksel bütünlüğünü sağlamakla kalmaz, aynı zamanda taşıdıkları kültürel ve tarihsel değerlerin korunmasına yönelik bir çaba olarak, geleceğe aktarılmasını hedefler.

Türkiye'deki restorasyon uygulamaları, belirli prensipler ve yöntemler doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Bu sürecin standartları, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) tarafından yayımlanan "Taşınmaz Kültür Varlıklarının Rölöve, Restitüsyon ve Restorasyon Projelerine Yönelik Teknik Şartname" ile belirlenmektedir. Bu şartname, restorasyon projelerinde uygulanan ilkeleri, yöntemleri ve gerekli teknikleri belirler ve restorasyon süreçlerinin sadece mühendislik açısından değil, kültürel bir sorumluluk olarak da ele alınması gerektiğini vurgular.

Restorasyon sürecinin başarısı, yalnızca mühendislik ve inşaat tekniklerinin uygulanması ile değil, aynı zamanda yapının tarihsel kimliğini, kültürel değerlerini ve özgün niteliklerini koruyacak şekilde müdahalelerde bulunulması ile mümkündür. Bu bağlamda, restorasyon projelerinde dikkate alınması gereken temel ilkeler şunlardır:

- Kültür varlıklarının korunmasındaki amaç, onları yalnızca bir sanat eseri olarak değil, aynı zamanda bir tarihsel belge olarak da muhafaza etmektir. Bu çerçevede, restorasyon müdahalelerinin, yapının içinde bulunduğu dönemin sosyal, kültürel ve ekonomik yapısını yansıttığı göz önünde bulundurulmalıdır.

- b) Yapının, günümüzdeki sosyo-kültürel kimliğini belirleyen mekânsal, biçimsel ve yapısal niteliklerinin yanı sıra, çevresindeki özgün yerleşim düzeninin de korunması gerekmektedir.
- c) Yapının işlev değiştirilmesi gerektiğinde, bu yeni kullanımın özgün değerlerine zarar vermemesi, mevcut nitelikleriyle uyumlu olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir.
- d) Restorasyon çalışmaları, mevcut yapının geçmişteki durumu ve yapı malzemeleri hakkında varsayımlar yerine, somut verilere dayanarak yapılmalıdır.
- e) Yapının korunması için yapılacak müdahaleler, özgün yapıyı bozmayan, ancak teknik açıdan modern gereksinimlere uygun çözümlerle gerçekleştirilmelidir.
- f) Farklı dönemlerde eklenen yapı bileşenleri, o dönemlerin mühendislik bilgisi ve yaşam tarzını yansıttığı için korunmalı ve kaybolmamalıdır.
- g) Bir dönemin ortaya çıkarılması amacıyla, diğer dönemlerin izlerini yok etmekten kaçınılmalı, her dönemin izleri korunarak tarihi yapının çeşitliliği sağlanmalıdır.
- h) Restorasyon projesi yalnızca yapısal sağlamlaştırma ile sınırlı kalmamalı, tarihi yapının yeniden işlevlendirilmesine yönelik çözümler de içermelidir. Bu süreçte, yeni işlevlerin yapının özgün kütle ve mekânsal özelliklerini bozmadan tasarlanması gerekmektedir.
- i) Yeni işlev verilen yapılarda, çağdaş ihtiyaçları karşılayacak servis alanlarının düzenlenmesi, yapının deprem güvenliği, yangın önlemleri ve erişilebilirlik gibi unsurlar proje aşamasında titizlikle ele alınmalıdır.

Bu ilkeler doğrultusunda gerçekleştirilen restorasyon çalışmaları, tarihi köprülerin fiziksel yapılarının yanı sıra, kültürel ve estetik değerlerinin de korunmasına olanak tanır. Tarihi köprülerin korunması, sadece mühendislik perspektifinden ele alınmamalı, aynı zamanda bir kültürel sorumluluk olarak değerlendirilmelidir. Restorasyon süreçlerinde, özgün yapının tarihsel kimliğini ve özelliklerini zedelememek adına titiz bir yaklaşım benimsenmelidir. Bu bağlamda, restorasyon müdahaleleri, köprünün yapısal bütünlüğünü ve kültürel değerlerini koruyacak şekilde, yapının orijinal niteliklerine saygı gösterilerek gerçekleştirilmelidir. Tarihi köprülerin korunması, yalnızca geçmişin izlerini bugüne taşımakla kalmaz, aynı zamanda toplumların kültürel mirasını yaşatmak ve gelecek nesillere aktarmak açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu süreç, kültürel sürekliliği sağlamak ve toplumların kimliklerini korumak için vazgeçilmez bir araçtır.

3.2. Tarihi Köprülerin Koruma Yöntemleri ve Restorasyon Teknikleri

Tarihi köprülerin korunmasında temel yaklaşım, diğer tarihi yapıların korunmasında olduğu gibi, yapının sürekliliğini ve bütünlüğünü sağlamak amacıyla düzenli bakım, izleme ve değerlendirme faaliyetlerinin etkin bir şekilde yürütülmesidir. Tarihi yapılar, özellikle köprüler, düzenli bakım ve koruma çalışmaları sayesinde sürdürülebilir bir şekilde korunabilir. Restorasyon süreçlerinden önce gerçekleştirilen detaylı analiz ve belgeleme çalışmaları, yapının mevcut durumunun kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına olanak tanır. Restorasyonun temel ilkelerinden biri, olabildiğince az müdahaleyle, köprünün özgün

kimliğinin ve yapısal bütünlüğünün korunmasıdır. Restorasyon sürecinde genellikle birden fazla teknik bir arada uygulanmakla birlikte, temel prensip, yapıya mümkün olduğunca az müdahalede bulunarak, onun hem tarihi belgeler olarak taşıdığı anlamı hem de estetik değerlerini muhafaza etmektir.

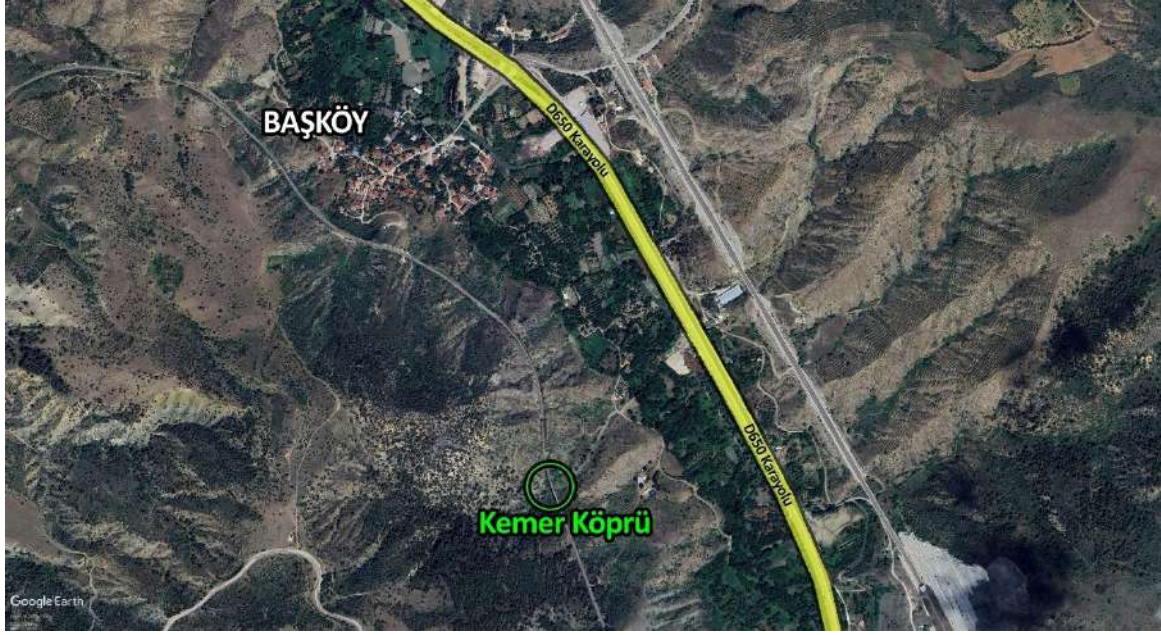
Yapılacak müdahalelerin derecesi, küçük ölçekli sağlamlaştırma işlemlerinden başlayarak, yeniden yapılandırmaya kadar geniş bir yelpazede değerlendirilir. Ancak koruma açısından en ideal yaklaşım, yapıların yalnızca sağlamlaştırılarak güvence altına alınmasıdır. Bu doğrultuda, hasarların temel nedenlerini ortadan kaldırmaya veya etkilerini azaltmaya yönelik olarak geliştirilen koruma teknikleri, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği tarafından yayımlanan teknik şartnamede detaylandırılmıştır [17].

- a) Sağlamlaştırma: Tarihi yapıların mevcut yapısal stabilitesini artırmaya yönelik müdahaleleri kapsamaktadır. Bu yöntemde, taşıyıcı sistemlerin güçlendirilmesi, çemberleme uygulamaları, bağlantı elemanlarının eklenmesi ve gergi sistemlerinin kullanılması gibi teknik çözümler öne çıkmaktadır. Sağlamlaştırma işlemleri, yapının özgün mimari ve malzeme özelliklerine zarar vermeden, mevcut sorunları giderme ilkesine dayanmaktadır.
- b) Bütünleme: Tarihi yapıların eksik veya tahrip olmuş bölümlerinin, belgelenmiş özgün tasarımlarına sadık kalınarak tamamlanması işlemidir. Geleneksel veya çağdaş malzemelerin kullanılabilmesi bu yöntem, yalnızca bilimsel verilere ve tarihsel belgelere dayandırıldığı takdirde uygulanabilir bir restorasyon tekniği olarak kabul edilmektedir.
- c) Yenileme: Tarihi yapıların işlevlerini yitirdiği veya çağdaş gereksinimlere yanıt veremez hale geldiği durumlarda, bu yapıların yeni bir işleve uyarlanması ya da mevcut işlevlerinin modern standartlara uygun şekilde güncellenmesi sürecidir. Yenileme çalışmaları, yapının özgün kimliğini ve estetik niteliklerini koruma sorumluluğunu da beraberinde getirmektedir.
- d) Yeniden Yapım: Tamamen yıkılmış, kaybolmuş ya da onarılamayacak kadar hasar görmüş kültürel miras öğelerinin, mevcut belgeler ve bilimsel çalışmalar ışığında yeniden inşa edilmesi işlemidir. Ancak, yeniden yapım yalnızca zorunlu durumlarda başvurulacak bir uygulama olup, istisnai bir çözüm olarak değerlendirilmektedir.
- e) Temizleme: Tarihi yapının veya alanın bütüncül estetik değerini bozan, tarihsel ve kültürel anlam taşımayan eklerin veya müdahalelerin yapının özgün kimliğine zarar vermeyecek şekilde kaldırılmasını içermektedir. Bu işlem, tarihi yapının özgün niteliklerini daha görünür hale getirmek amacıyla gerçekleştirilmektedir.
- f) Taşıma: Tarihi yapıların korunmasında temel ilke, yapıların bulunduğu yerinde korunmasıdır. Ancak, jeolojik tehditler, doğal afetler veya kamu yararını gerektiren olağanüstü durumlar, yapıların taşınmasını zorunlu kılabilir. Bu durumda, yapı uygun bir alana nakledilerek, fiziksel ve kültürel bütünlüğün korunması hedeflenmektedir.

4. BİLECİK-BAŞKÖY, KEMER KÖPRÜ ÖRNEĞİ

4.1. Bilecik-Başköy, Kemer Köprü'nün Tarihi ve Mimari Özellikleri

Osmanlı döneminde "Hoca Ömer" adıyla bilinen Başköy, tarihsel kayıtlarda Bilecik'in Küplü nahiyesine bağlı bir yerleşim birimi olarak geçmektedir (Turğut, 2015, s. 232). Başköy, 1847 yılından itibaren günümüzdeki adını koruyarak varlığını sürdürmüştür. Günümüzde Bilecik'in Merkez ilçesi sınırlarında yer alan bu köyün yakınlarında bulunan ve halk arasında "Başköy Tren Köprüsü" olarak anılan Bilecik-Başköy Kemer Köprü, erken Cumhuriyet dönemine ait mühendislik ve mimarlık başarılarının dikkat çekici bir örneği olarak değerlendirilmektedir.



Görsel 5. Kemer Köprü Yeri

Köprü'nün ilk inşa edilen hali, kemerli bir demir köprü niteliği taşımaktadır. Yerden yaklaşık 40 metre yükseklikte ve 105 metreyi aşan serbest açıklığa sahip olması, yapının dönemin mühendislik kapasitesini ve estetik anlayışını başarılı bir şekilde yansıttığını göstermektedir.



Görsel 6. Başköy Demiryolu Köprüsü'nün Görüntüsü [18]

Başköy Köprüsü'nün tarihi önemi, özellikle Milli Mücadele döneminde yaşanan olaylarla daha da belirginleşmektedir. Bölge halkı, köprünün Milli Mücadele sırasında patlatıldığına dair anılarını günümüze taşımaktadır. Yapının patlatılmadan önceki hali incelendiğinde, Başköy Köprüsü'nün Anadolu Demiryolu hattı inşası kapsamında, söz konusu vadide 70 metre açıklığında, kavisli bir kemer yapısı ve birkaç onar metre uzunluğunda müstakim başlıklı bir demir köprü olarak inşa edildiği anlaşılmaktadır. Başköy Köprüsü'nün Milli Mücadele esnasında dinamitle tahrip edilmesi olayı, 10 Ocak 1921 tarihli kayıtlarda yer almaktadır. Türk İstihkâm Birlikleri tarafından, Karaköy-Bilecik hattındaki üç büyük köprünün tahrip edildiği vurgulanmıştır [19].



Görsel 7. Başköy Köprüsü'nde Yaşanan Patlamamın Görseli [18]

4.2. Bilecik-Başköy, Kemer Köprü'nün Onarım ve Restorasyon Süreçleri

Milli Mücadele sonrasında, Ankara Hükümeti'nin Anadolu Demiryolları Müdürlüğü tarafından, belirtilen geçit üzerinde altı katlı ahşap bir köprü inşa edilmiştir. İnşaat süreci yaklaşık yedi ay sürmüştür ve köprü, 7 Haziran 1923 tarihinde demiryolu taşımacılığına hizmet vermeye başlamıştır. Ancak köprünün ahşap malzemeden yapılmış olması, özellikle yangın riski ve malzemenin kısa ömürlü olması gibi sebeplerle yapısal açıdan yetersizliklere yol açmıştır. Bu durum, daha dayanıklı bir köprünün inşa edilmesi gerekliliğini gündeme getirmiştir.

Yeni köprü yapımına ilişkin planlamalarda, o dönemin ekonomik koşulları dikkate alınmış ve inşaatta kullanılacak malzemelerin yerel kaynaklardan temin edilmesine karar verilmiştir. Bu kapsamda, taş ve kireç gibi malzemeler kullanılarak kâgir bir köprü inşa edilmesi planlanmıştır. İlgili inşaat ihalesine, Haydar ve ekibiyle birlikte başka bir firma da iştirak etmiştir ve proje için 20.000 liralık bir bütçe tahsis edilmiş olup, ihale sonucunda 7 Haziran 1924 tarihinde Haydar ve Şürekâsı firması ile bir sözleşme imzalanmıştır. Bu sözleşme ile köprünün yapımına başlanmıştır [18].



Görsel 8. Bilecik-Başköy, Kemer Köprü

Kurtuluş Savaşı sonrasında, Anadolu-Bağdat Demiryolları Genel Müdürlüğü tarafından yaptırılan ilk köprü olması nedeniyle bu proje, dönemin mühendislik uygulamaları ve altyapı projeleri açısından büyük bir öneme sahiptir. Tasarlanan yeni köprü, her biri 15 metre açıklığa sahip yedi kemerden oluşacak şekilde planlanmıştır. Başköy'deki eski demir köprünün kalıntıları kaldırıldıktan sonra, varyantların hafriyatından çıkan toprak, vadinin eğimini doldurarak köprü alanında önemli miktarda dolgu oluşturmuştur. Bu durum, zeminin dayanıklılığını değerlendirmek amacıyla sondaj çalışmaları yapılmasını gerektirmiştir. Yapılan sondaj sonucunda, sağlam zemin seviyesinin yüzeyin yaklaşık 4-5 metre altında bulunduğu tespit edilmiştir.

1925 yılının Mart ayında hava koşullarının elverişli hale gelmesiyle birlikte inşaat faaliyetleri yeniden başlamıştır. Bölgenin gevşek ve akışkan arazi yapısı, temel kazıları sırasında ciddi teknik zorluklara neden olmuştur. Eski demir köprüden kalan enkaz da temellerin çevresinde bulunmuş ve kazı işlemlerini daha karmaşık hale getirmiştir. Bu zorluklara rağmen, kereste kullanımını optimize etmek amacıyla her bir temel ayağı 5-6 bölüme ayrılmış ve sağlam zemin seviyesine ulaşıldıktan sonra kâgir temel inşasına başlanmıştır.

Temel ayaklarının inşasının ardından, köprünün kemer yapıları için çalışmalara geçilmiştir. Kemer kalburları güvenli bir şekilde inşa edilebilmesi için, ayakların üzerine işçilerin çalışabilmesi amacıyla bir platform yerleştirilmiştir. Her bir kemer için üç demir kiriş kullanılarak yapının güçlendirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, inşaat süreci boyunca, yapının üst kısmına kadar ulaşan bir iskele kurulmuş ve bu iskele aracılığıyla malzeme taşınması

sağlanmıştır. Kemerlerin kalıpları, yaklaşık 15 gün süreyle bırakıldıktan sonra sökülmüştür. İnşaatin tamamlanmasının ardından, 2 Aralık 1926'da köprü, demiryolu taşımacılığına açılmıştır.

4.3. Bilecik-Başköy Kemer Köprüsünün Gelecekteki Koruma Stratejileri

Bilecik-Başköy Kemer Köprü'nün korunmasına yönelik gelecekteki stratejiler, hem yapısal bütünlüğün sürdürülebilir şekilde muhafaza edilmesini hem de kültürel miras değerlerinin korunarak topluma kazandırılmasını esas almalıdır. Bu kapsamda, köprünün düzenli izleme, bakım ve restorasyon süreçlerine dahil edilmesi, yapının maruz kalabileceği çevresel etkiler ve yapısal yıpranmaların erken tespit edilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle kemer sistemi, temeller ve taşıyıcı elemanların periyodik analiz ve dayanıklılık testlerine tabi tutulması, köprünün fiziki ömrünün uzatılması açısından hayati bir gerekliliktir.

Gelecekte uygulanacak koruma stratejilerinde, modern mühendislik yöntemlerinin ve teknolojik yeniliklerin kullanımı, köprünün tarihi kimliğini ve özgün yapısal özelliklerini bozmadan dayanıklılığını artıracak bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Örneğin, taş yüzeylerin mikrohasar analizleri, nem ve tuz etkilerine karşı koruyucu malzeme uygulamaları ve zemin stabilizasyonuna yönelik jeoteknik müdahaleler gibi yöntemler, yapısal dayanıklılığın artırılmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca, doğal afetler ve iklim değişikliği kaynaklı risklerin azaltılmasına yönelik stratejiler geliştirilerek köprünün çevresel tehditlere karşı dirençli hale getirilmesi sağlanmalıdır.

Kültürel mirasın korunmasında toplum bilinci oluşturmak önemli bir diğer unsurdur. Köprünün tarihsel ve mimari özelliklerinin yerel halk ve akademik çevreler için bir eğitim ve araştırma kaynağı olarak değerlendirilmesi, toplumsal farkındalığın artırılmasına katkı sağlayabilir. Köprünün tarihi ve kültürel değerinin anlaşılması, korunma sürecine toplumsal bir katılımı teşvik eder. Bu bağlamda, köprüyle ilgili eğitim ve farkındalık çalışmaları yapılmalı, yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşlarıyla iş birliği yapılmalıdır. Uzun vadeli koruma için, köprünün düzenli olarak denetlenmesi, bakım ve onarım ihtiyaçlarının belirlenmesi ve bu ihtiyaçlara yönelik planlı bir kaynak yönetimi oluşturulması gereklidir. Bilecik-Başköy Kemer Köprüsü'nün gelecekteki korunması, bu stratejilerin bir araya gelmesiyle, köprünün hem yapısal hem de kültürel değerinin korunmasına ve gelecek nesillere aktarılmasına olanak tanıyacaktır.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, tarihi köprülerin yapısal ve kültürel özelliklerinin korunması bağlamında önemli bir örnek teşkil eden Bilecik Başköy Kemer Köprü'yü incelemiştir. Tarihi köprüler, inşa edildikleri dönemin mühendislik ve estetik anlayışını yansıtmakla kalmayıp, aynı zamanda sosyal, ekonomik ve kültürel bağamlarına ışık tutan somut kültürel miras unsurlarıdır. Bu bağlamda, Kemer Köprü'nün analizi hem yapısal özelliklerinin hem de tarihi süreç içerisindeki rolünün derinlemesine incelenmesi açısından önemli bir zemin oluşturmuştur.

Araştırmanın bulguları, tarihi köprülerin restorasyon ve koruma süreçlerinde özgün malzeme ve tekniklerin kullanımının gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır. Bununla

birlikte, modern mühendislik yöntemlerinin entegre edilmesi, köprülerin yapısal dayanıklılığını artırmak ve sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda gelecek nesillere aktarılmasını sağlamak için kritik bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, Başköy Kemer Köprü'nün yeniden inşa ve onarım süreçlerinde uygulanan tekniklerin, döneminin ekonomik ve teknik koşullarıyla uyumlu olarak geliştirildiği ve bu süreçlerin yapının özgün kimliğini koruma hedefine hizmet ettiği sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, tarihi köprülerin korunması, sadece mühendislik perspektifinden değil, aynı zamanda kültürel süreklilik ve toplumsal bellek açısından da ele alınmalıdır. Bu doğrultuda, Başköy Kemer Köprü gibi yapılar üzerinde gerçekleştirilen kapsamlı analizler ve öneriler, diğer tarihi yapıların korunması ve yaşatılması için örnek teşkil edebilecek metodolojik yaklaşımlar sunmaktadır. Tarihi köprülerin korunmasına yönelik sürdürülebilir ve bilimsel temelli müdahaleler, kültürel mirasın gelecek kuşaklara aktarılmasında vazgeçilmez bir role sahiptir.

KAYNAKÇA

- [1] Hökelekli, E., & Yılmaz B., Effect of Cohesive Contact of Backfill with Arch and Spandrel Walls of a Historical Masonry Arch Bridge on Seismic Response, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 63(3), 926–937, 2019.
- [2] Toker, S., & Ünay, A., Mathematical modeling and finite element analysis of masonry arch bridges, *Gazi University Journal of Science*, 17(2), 129-139, 2004.
- [3] Sert, H., Partal E., Demirci, H., Avşın., A., & Yılmaz, S., *Tarihi Köprüler Proje ve Uygulama İhaleleri*, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 2009.
- [4] Özmen, A., *Yakın ve Uzak Fay Hareketlerine Maruz Tarihi Yığma Bir Köprünün Sismik Performansının Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, 2019.
- [5] İlter, F. *Osmanlılara kadar Anadolu Türk Köprüleri*, Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, 33-45, Ankara, 1978.
- [6] Akın, K., *Tarihi Yığma Köprülerin Farklı Sönüm Oranları Altında Sismik Tepkisinin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, 2020.
- [7] Türkçü, Ç., *Yapım; Malzemeler, İlkeler, Çözümler, Yöntemler*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [8] Yılmaz, P., *Tarihi Yapıların Modellenmesi ve Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2006.
- [9] Özkaya, S. G., *Yığma Köprülerin Deprem Davranışlarının Doğrusal Olmayan Statik Yöntemlerle Tahmini*, Doktora Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2019.

- [10] Tetik, T., *Tarihi Yiğma Yapıların Deprem Performansı ve Güçlendirme Teknikleri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, İstanbul, 2015.
- [11] Ünay, A.İ., *Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı*, *ODTÜ Yayınları*, Ankara, 2002.
- [12] Dabanlı, Ö., *Tarihi Yiğma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- [13] Ünay, A., İ., *A Method for the Evaluation of the Ultimate Safety of Historical Masonry Structures*, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1997.
- [14] Oğuz, C., *Myra ve Limanı Andriake'de Kullanılan Özgün Malzeme Özelliklerinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 2013.
- [15] Tekin, Ç., ve Kurugöl, S., *Çeşitli Organik Katkıların Kirecin Karbonizasyonu Üzerindeki Etkisi*, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 4, 717-728, Ankara, 2012.
- [16] Böke, H., Akkurt, S., ve İpekoğlu, B., *Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcı ve Sivaların Özellikleri*, *Yapı Dergisi*, 69, 90-95, 2004.
- [17] TMMOB, *Taşınmaz Kültür Varlıklarının Rölöve, Restitüsyon ve Restorasyon Projelerine İlişkin Teknik Şartname*, 31-42, 28.12.2011.
- [18] Çetin, M. C., *Ertuğrul Sancağında Demiryolu İnşa Faaliyetleri*, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2020.
- [19] Gürel, Z., *Kurtuluş Savaşında Demiryolculuk*, Türk Tarih Kurumu Basımevi, 1989.

TRAVNIK ŞEHRİNİN MİMARİ MİRASININ İNCELENMESİ ANALYSIS OF THE ARCHITECTURAL HERITAGE OF THE CITY OF TRAVNIK

Dr. Öğr. Üyesi Serdar KASAP¹

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,
serdar.kasap@bilecik.edu.tr - 0000-0002-7847-3284

Doç. Dr. Parisa GÜNEŞ²

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,
parisa.goker@bilecik.edu.tr - 0000-0001-8876-2621

Arş. Gör. Adiva Begül BULUT³

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,
begul.bulut@bilecik.edu.tr - 0000-0002-0135-1780

ÖZET

İnsanlığın ortak değeri olarak kabul edilen, günümüze kadar özgün nitelikleri bozulmamış olarak ulaştırmış ve geleceğe aktarılması gereken en önemli kavramlardan biri de mimari miras kavramıdır. Mimari miras, toplumların tarihi, kültürel, sosyal, dini, siyasi, ekonomik vb. pek çok özelliğini içerisinde barındırarak bunlardan izler taşımaktadır. Bu sebeple mimari mirasın incelenmesi ve değerlendirilmesi sadece estetik ve sanatsal değerlere bağlı kalarak değil, toplumun kendisine de ışık tutabilecek şekilde yapılmalıdır. Her toplum bulunduğu coğrafya, gelenek ve kültürü neticesinde kendi mimari anlayış ve tarzını oluşturmuştur. Her mimari eser kendinden önceki dönemlerden beslenerek gelişen kültürel ve sanatsal anlayışın izlerini taşımaktadır.

Çalışma kapsamında; Travnik şehrinin mimari mirasının geçmişteki işlev ve amacı, mevcut durumu detaylı olarak incelenerek; şehrin tarihi dokusu ve turizm için önemi ortaya koyulmuştur. Çalışma tarihsel açıdan değerlendirildiğinde, kentsel dokuların kültürel değerlerinin şehirde yaşayanlar tarafından kabul görmesi ve bu doğrultuda bir koruma kültürü oluşturulması bağlamında önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Travnik, Kültürel miras, Kentsel Koruma, Mimari Miras

1. GİRİŞ

Osmanlı tarihi boyunca Anadolu toprakları ve Balkanlarda birçok eser inşa etmiş ve bu eserlerin bir kısmı günümüze ulaşmıştır. Tarihin farklı dönemlerinde birçok uygarlığa ev

sahipliği yapmış olan balkan coğrafyasında, bu uygarlıklara ait mimari ve yöresel çeşitlilikleri ile katkı sağlayan önemli doğal ve kültürel varlıklar mevcuttur. Günümüze kadar ulaşan evrensel kültürel varlıklarının günlük hayat içerisindeki konumları, kullanılma değerleri, toplum ile olan ilişkileri ve daha birçok özellikleri nedeniyle dünyaya tanıtılması ve uluslararası katkılar yardımıyla korunarak gelecek nesillere korunmuş şekilde aktarılması gerekmektedir. Kentsel dokuda oluşturulan tahribat nedeniyle yöresel çeşitlilik azalmakta ve kentsel mimari dokunun sürdürülebilirliği sağlanamamaktadır. Tüm bu olumsuzluklar yaşanırken ortaya çıkan bilimsel gerçeklerin yardımıyla gerekli önlemlerin alınabilmesi için, çevre ile ilgili uluslararası konferans ve toplantılar düzenlenerek ve kent içi bilgilendirmeler yapılarak kentte yaşayanların bilinçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Düzenlenecek konferanslar, kent özelinde farkındalık yaratılarak, geleceğe sahip çıkma adına, birtakım sözleşmelere zemin oluşturabilir. Kent ve kent yerleşimlerinin korunmasına yönelik yapılan çalışmalar ve küresel eylem planı uluslararası katkılar sağlayabilir.

2. TRAVNİK ŞEHRİNİN MİMARİ MİRASININ İNCELENMESİ

2.1. Bosna Hersek

Balkanlar, tarih boyunca sürekli değişim ve dönüşümlere sahne olmuş bir coğrafya olarak dikkat çekmektedir. Farklı kültürlerin, dinlerin ve etnik grupların bir arada bulunduğu bu bölge, tarihsel süreçte çeşitli hâkimiyet mücadelelerine tanıklık etmiş; sık sık el değiştiren topraklarıyla bilinir hale gelmiştir. Bu durum, Balkanlar'ı savaşlar, çatışmalar ve siyasi karışıklıkların eksik olmadığı, uzun süre istikrarın sağlanamadığı bir bölgeye dönüştürmüştür.

Antik Yunan, Roma, Bizans, Osmanlı, Avusturya-Macaristan Balkanlarda bir dönem kalmış, iz bırakmış medeniyetlerdir. Farklı medeniyetlerin hâkimiyeti aynı zamanda farklı dinlerin mevcut olmasını sağlamıştır. Balkan kelimesi, Türkçe bir kelime olup “sık ormanlarla kaplı sıradağ ya da çalılıklarla kaplı engebeli arazi” anlamına gelmektedir. Balkan coğrafyası, Avrupa'nın arka bahçesi olarak görülmüş, batının doğusu olarak adlandırılmış, karışıklıkların savaşların çıktığı düzensizliğin, geriliğin hâkim olduğu bir coğrafya olarak vasıflandırılmıştır. Balkanlar, Güneydoğu Avrupa olmasına rağmen Avrupa hiçbir zaman, Balkanları kendi coğrafyasından saymamıştır (Bayram,2015,syf.345).

Balkanlar Osmanlı Devleti'nin Avrupa'daki ilerlemesi için önemli bir mihenk noktasını teşkil etmiş, bölgedeki fetihlerin ardından bu topraklar Türk- İslam medeniyetinin yoğurulduğu bölgeler arasında yerini almıştır. Balkanlarla Osmanlı idarî yapısı açısından önemli bir noktayı batıya doğru ilerlemelerde bir uç vazifesi gören Bosna- Hersek oluşturmaktadır. Bosna Hersek, ifade ettiğimiz üzere birçok milletin mücadelesine sahne olmasının yanı sıra, aynı zamanda eski pagan inanç ve gelenekler ile Hıristiyanlık, Bogomilizm ve İslam gibi dinlerin mücadelesine de sahne olmuştur. İslam ve Bogomilizm'den önce Bosna Hersek'e Hıristiyanlık intikal etmiştir. Bosna'daki Bogomiller'e en güçlü saldırılar Fransisken tarikatı mensuplarından gelmiştir. 1291'den itibaren bölgede varlıkları bilinen ve ilk manastırlarını 1340'de kuran Fransisken misyonerler, Osmanlılar Bosna'yı fethedinceye kadar Bogomillerin en yoğun buldukları,

özellikle kuzeydoğu ve orta Bosna'daki şehirlerde ve halkının tümünün heretik olduğu ifade edilen, Srebrenica şehri gibi maden yönünden zengin olan bölgelerde manastırlar kurarak faaliyetlerde bulunmuşlardır (Karacan ve ark.,2017,syf.52). 1463 yılında Fâtiş Sultan Mehmet tarafından fethedilen Bosna-Hersek'te Osmanlı idaresi süresince halkın önemli bir bölümü İslamiyet'i kabul etmiştir. Bunun neticesi olarak, Türk-İslâm kültürü burada süratle gelişmiş ve kökleşmiştir (Uyaniker ve Akçakaya, syf.44).

Daha sonra uzun bir süre devam edecek olan Osmanlı hâkimiyeti başlar. Tüm tarihçilerin üzerinde ittifak ettiği hususlardan birisi, Osmanlı devletinin, balkanlarda gelişip büyüdüğü yani bir balkan devleti olduğu hususudur. Bu sebepten uzun süre hükümlan olduğu bölge olan balkanlarda, Osmanlılar, arkalarından, farklı alanlarda çok zengin bir miras bırakmıştır. Fetihlerle genişleyen Osmanlı, ihdas ettiği vakıflar eliyle, yeni şehirler (Selanik, Üsküp, Manastır, Saraybosna, Yanya, Mostar..v.d.) kurmuş ve bu şehirleri, çok sayıda mimari eserler; ibadethaneler, hanlar, yollar ile donatmıştır (Karacan ve Ark.,2017,syf.50). İlber Ortaylı: "Her şeyden önce Osmanlı İmparatorluğu, XIV. ve XV. yüzyıllarda bir Balkan İmparatorluğu" olarak doğup gelişti. "der. Halil İnalçık ise: "Bu nedenle de Balkan topraklarının güvenliği ve muhafazası, Osmanlı Devleti'nin güvenliği ve muhafazası demektir. İkincisi; bölgenin tarımsal ve hayvansal ürünleri sarayın, Edirne, İstanbul, Selanik ve Bursa gibi kalabalık kentlerin ve ordunun ihtiyaçlarını karşılıyordu." görüşünü ifade eder (Bayram,2015,syf.345).

Balkanlarda elde edilen topraklarda tımar ve zeamet teşkilatı yapıldı ve Türk nüfusunu arttırmak üzere Anadolu'nun muhtelif yerlerinden her tarafa Türk göçmenleri yerleştirildi; şehir ve kasabalarda cami, mescit, tekke, zaviye, türbe gibi dinî, medrese, mektep, darü'l-kurra, darü'l-hadîs gibi ilmî ve darüşşifa, bimarhane gibi sağlık; köprü, dükkân, arasta, kervansaray, han, hamam, imaret ve bedesten gibi içtimaî müesseseler vücuda getirilmek suretiyle buralara Türk ve İslâm damgası vuruldu. Bu suretle bir buçuk asır içinde Balkan, şehir ve kasabaları buralardaki ilmî, içtimaî müesseseleriyle tam bir Türk ve Müslüman ülkesi oldu (Nureski,2016,sy.354).

Osmanlı Devleti'nin hâkimiyeti altına girdikten, günümüze kadarki tarihsel ve toplumsal gelişme süreci içinde Balkanlar Türk-İslam kültürünün bütün maddî ve manevî değerlerin ifadesi olan ve aynı zamanda bu topraklarda söz konusu kültürün sonraki nesillere iletilmesini ve günümüze kadar ulaşmasını sağlayan birçok kültür eseri vücuda getirilmiştir (Nureski,2016,sy.355). Kültür kelime olarak; Latince'deki "Cultura" ya da "Colere" sözcüğünden gelen bir kavramdır. Klasik Latince'de, "bakmak" ya da "yetiştirmek" anlamına gelmektedir. Tanım olarak bugün kullanımda gelinen noktada; Kültür toplumun geçmişte ve günümüzde süregelen bir çok yönünü kapsar. Tarihi ören yerleri, binalar gibi fiziksel nesnelere ve adetler, şarkılar, danslar gibi görenekler de toplum kültürünü yansıtan unsurlar arasında yer almaktadır. Kültürün bir toplumun sahip olduğu maddî ve manevî değerlerden oluşan bir bütün olduğunu söyleyen bilim insanları, aynı zamanda kültürün toplumda mevcut her tür bilgi, ilgi, alışkanlık, değer yargıları, genel tutumlar, görüş düşünce ve tüm davranış şekilleriyle bir bütün olduğunu savunmaktadırlar (Karacan ve ark.,2017,syf.50).

Osmanlı döneminde bütün Balkanlarda hâkim bir kültür olarak yaşayan Türk kültürünün Osmanlı idaresinin çekilmesinden sonra azınlık konumunda da olsa günümüze kadar yaşadığını ve günümüzde de burada yaşayan Türkler tarafından diliyle, kılık-kıyafetiyle, yemesi-içmesiyle, adet, gelenek-göreneğiyle canlı bir şekilde yaşatıldığı ve muhafaza edildiği görülmektedir. Dolayısıyla Balkanların Osmanlı döneminde olduğu gibi, Osmanlı sonrası döneminde ve günümüzde de Türk kültür tarihinin bütününü oluşturan en önemli ve ayrılmaz bir parçası olduğu bir gerçektir.

İslâm kültürünün en belirgin izleri mimarlık ve şehir planlamasında kendini göstermektedir. Birçok Bosna şehri, klasik Osmanlı şehircilik anlayışı çerçevesinde çarşı ve mahallelere bölünmüş şekilde gelişmiştir. Osmanlı idaresi altında şehircilikte üç devre göze çarpar. İlk devrede âbidevî mimarinin temsilcileri olan ibadet yerleri ve umuma mahsus binalar inşa edilmiş ve bunlar genellikle valiler ve yüksek unvanlı görevliler tarafından yaptırılmıştır. Saraybosna'da Gazi Hüsrev Bey Camii (1530) ve Ali Paşa Camii (1561), Foça'da Alaca Cami (1550), Banaluka'da Ferhad Paşa Camii (1579), yine Saraybosna'da Gazi Hüsrev Bey Hamamı, Selçukiye veya Kurşumliya da denilen Gazi Hüsrev Bey Medresesi (1537), Brusa Bedesteni (1551) bu muhteşem mimarinin örneklerini teşkil eder. İkinci dönemde zengin esnaf ve tüccar tarafından yaptırılan daha gösterişsiz binalar görülür. Üçüncü dönem mimarisi ise çöküşün izlerini taşır. Yine de bu dönemde teknik mükemmeliyete sahip bazı binalar yapılmıştır. Bir bedestenin üzerinde inşa edilen Travnik'teki Süleymaniye Camii bunun en güzel örneğidir (Djurdjev, 1992,syf.301).

2.2. Bosna Hersek'in Tarihi Kasabası "Travnik"

Bosna-Hersek'in orta kesimlerinde, Saraybosna'nın 90 km kuzeybatısında ve deniz seviyesinden 504 metre yüksekte yer alan Travnik, tarihî ve kültürel açıdan önemli bir yerleşim merkezidir. Osmanlı döneminde XVI. yüzyılda ortaya çıkan Travnik, zamanla hızlı bir gelişim göstererek ülkenin en büyük taşra merkezlerinden biri haline gelmiştir. 1699-1851 yılları arasında Bosna vezirlerinin ikametgâhı olarak kullanılan şehir, bu dönemde cami, okul, hamam, tekke ve diğer yapılarla donatılmıştır. Osmanlı döneminde Travnik'in nüfusunun büyük çoğunluğunu Müslümanlar oluşturmuştur. Şehir, çevredeki dağlardan bakıldığında, Osmanlı geçmişinin karakteristik izlerini yansıtan bir görünüme sahiptir. Travnik'in bu tarihî ve mimarî yapısı, Osmanlı İmparatorluğu'nun bölgedeki etkisinin somut bir göstergesidir (Kıe1,2012,syf.308).

Travnik'in tarihi, Osmanlı döneminden çok daha önceye, tarih öncesi çağlara dayanmaktadır. Bölgeye dair ilk yerleşim izleri Tunç Çağı'na kadar uzanmakta olup, kaynaklarda milattan sonra ilk birkaç yüzyıla ait bilgiler de bulunmaktadır. Şehir, Roma dönemine ait çeşitli arkeolojik kalıntılara sahiptir; mezarlar, kaleler ve erken dönem Hristiyan bazilikaları bu zengin tarihî mirası yansıtan önemli unsurlardır (<https://gezimanya.com>).

Laşva Nehri vadisinde, Vlaşiç ve Vilenica dağlarının arasında yer alan Travnik, tarihî ve kültürel birikimi ile dikkat çeken bir yerleşim yeridir. Bölgenin, tarih öncesinden itibaren sürekli olarak yerleşime açık olduğu, bu süreçte çok sayıda arkeolojik bulgunun,

seramiklerin, paraların ve yapı kalıntılarının ortaya çıkarıldığı görülmektedir. Bu özellikler, Travnik'in tarih boyunca stratejik ve kültürel bir merkez olarak önem taşıdığını göstermektedir.



Görsel 1. Travnik Uydu Görüntüsü (www.google.com) İşlenerek.

İslam kültürünün en belirgin izleri, özellikle mimarlık ve şehir planlamasında kendini göstermektedir. Bosna'daki birçok şehir, klasik Osmanlı şehircilik anlayışı çerçevesinde çarşı ve mahalleler olarak düzenlenmiş ve bu doğrultuda gelişim göstermiştir. Osmanlı idaresi altında şehircilik, üç ana dönemde incelenebilir:

İlk dönemde, görkemli mimarinin temsilcisi olan ibadethaneler ve kamuya açık binalar inşa edilmiştir. Bu yapılar genellikle valiler ve yüksek statüdeki devlet görevlileri tarafından yaptırılmıştır. İkinci dönemde ise zengin esnaf ve tüccarlar tarafından daha sade ve gösterişsiz yapılar inşa edilmiştir. Üçüncü dönemde ise Osmanlı'nın çöküş sürecinin izleri mimariye yansımış olsa da, bu dönemde dahi teknik mükemmeliyete sahip bazı yapılar inşa edilmiştir.

Travnik'teki Süleymaniye Camii, bu dönemlerin mimari özelliklerini yansıtan önemli bir örnektir. Aynı zamanda bu dönemde birçok eski cami tamir edilmiş, böylece bölgenin İslami ve Osmanlı kültür mirası korunmaya çalışılmıştır. Bu mimari yaklaşımlar, Osmanlı şehircilik anlayışının Bosna üzerindeki kalıcı etkilerini gözler önüne sermektedir (Djurdjev, 1992, syf. 303).

Osmanlı şehirlerinde yerleşim düzeni, ticaret alanları ile konut alanlarının ayrılığına dayanır. Evler genellikle birbirine benzer bir karakterde inşa edilmiş olup, bu durum düzensiz ve doğal bir şekilde oluşmuş sokak dokusunu beraberinde getirmiştir. Planlı bir şehir meydanı kavramı Osmanlı şehirlerinde yaygın değildir. Meydan niteliği taşıyan alanlar, genellikle

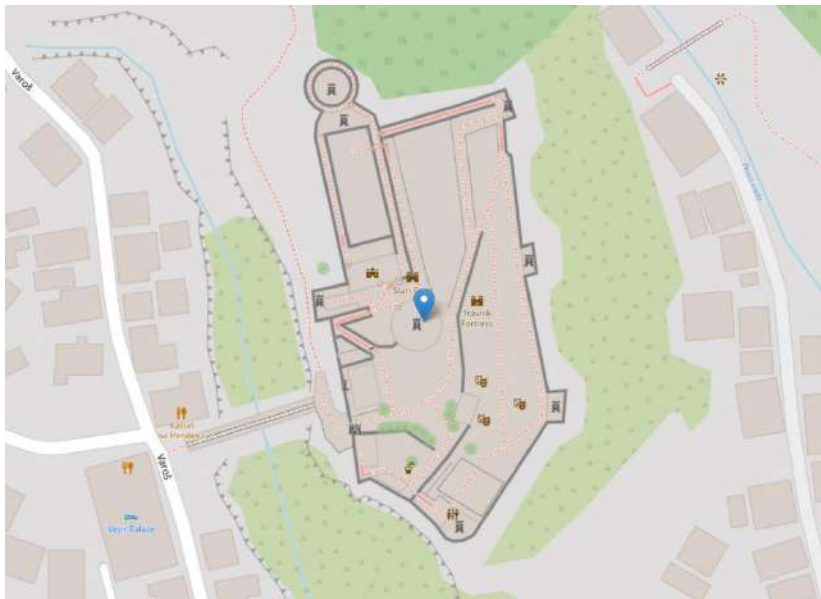
camii, mescit, çeşme ya da pazar yerleri etrafında zamanla kendiliğinden oluşmuştur. Bu özellik, Osmanlı şehir planlamasının işlevsellik ve toplumsal ihtiyaçlar temelinde şekillendiğini göstermektedir (Canyurt, 2016, syf.7).

Travnik, Osmanlı egemenliğinden ayrılmasının üzerinden yaklaşık 200 yıl geçmesine rağmen, Osmanlı dönemine ait mimari ve kültürel izleri korumakta ve adeta o dönemde donmuş bir şehir görünümünü sergilemektedir. Avrupa'nın ortasında yer alan Travnik, Türk tarihinin izlerini taşıyan Bursa, Amasya ve Kastamonu gibi Anadolu şehirlerini andırmaktadır.

Şehirdeki önemli tarihî yapılar arasında Süleymaniye Camii ve Travnik Kalesi özel bir yere sahiptir. Yol boyunca sıralanan mahalle mescitleri, şehrin Osmanlı dönemine özgü mimari özelliklerini yansıtarak ziyaretçilerin dikkatini çekmektedir. Kalenin girişine ulaşıldığında ise, ziyaretçiler iki gözlü bir köprüden geçerek bu tarihî yapının içine adım atmaktadır. Travnik'in bu özellikleri, Osmanlı mirasının bu coğrafyadaki sürekliliğini gözler önüne sermektedir.

2.3. Travnik Kalesi

Travnik Kalesi, Bosna-Hersek'in Travnik kentinde yer alan ve tarihî geçmişiyle dikkat çeken önemli bir eserdir. XV. yüzyılda kale, yalnızca küçük bir kule ve ince bir duvarla çevrili bir yapıdan ibaretti. Ancak, 1463 yılında Fatih Sultan Mehmet'in emriyle kale, yeni duvarlarla çevrilmiş, içerisine farklı mimari unsurlar eklenerek güçlendirilmiş ve sancak merkezi haline getirilmiştir. Kale içerisinde, Sultan II. Bayezid tarafından yaptırılan bir minare bulunmaktadır. Bu minarenin bir benzerinin İstanbul'da Ayasofya Camisi'nde yer alması, yapının mimari açıdan taşıdığı önemi vurgulamaktadır. Travnik Kalesi, gerek Osmanlı dönemine ait mimari özellikleri gerek stratejik konumuyla bölgenin tarihî ve kültürel mirasının önemli bir temsilcisidir (www.osmanli-eserleri.com).

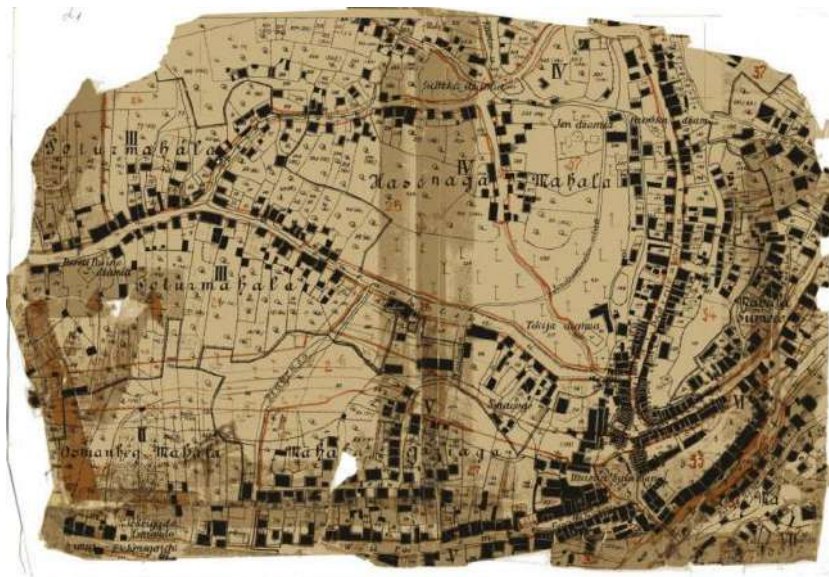


Görsel 2. Travnik Kalesi Planı (www.openstreetmap.org).



Görsel 3. Travnik Kalesi Genel Görüntüsü (Anonim).

Kale içerisinde yer alan ve Sultan II. Bayezid tarafından 15. yüzyılda inşa ettirilen camiden geriye yalnızca minaresi ve bazı duvar kalıntıları kalmıştır. Bunun yanı sıra, Bosna-Hersek genelinde inşa edilmiş en eski cami olarak bilinen “Yeni Cami” (Hadži Ali-bey Camii), 1549 yılında Hasan Ağa tarafından yaptırılmıştır ve bölgenin tarihi ve kültürel zenginliğini yansıtmaktadır. Bu yapılar, Travnik’in zengin tarihini ve Osmanlı dönemine uzanan kültürel mirasını gözler önüne sermektedir.



Görsel 5. 1883 Tarihli Şehir Haritası (Canyurt, 2016, syf.11).



Foto 6. Şehirin Genel Görüntüsü (www.tripadvisor.com.tr).

2.4. Süleymanpaşa Camii

Vezir Süleyman Paşa tarafından 1815-1816'da Skopljak'ta yaptırılan Travnik'in en büyük, en zengin süslemeli camisinin alt katı bedesten şeklinde tasarlanarak inşa edilmiştir. Diğer paşalar da bu yapılara türbeler, iki saat kulesi, köprüler ve pek çok çeşme eklemiştir (Kiel2012, syf. 310). Avusturya – Macaristan döneminde 1878 yılında onarım geçiren yapının, kalemşi süslemelerinin büyük bölümü kapatılmıştır. 1903 yılında çıkan yangın sonrasında tamir edilen yapı, 1945 yılında II. Dünya Savaşı esnasında Travnik bombalanırken batı duvarının bir kısmı yıkılmıştır. En kapsamlı onarımı 1982-1987 yılları arasında geçirmiştir ve günümüzde ibadete açıktır (Canyurt,2016,syf.49).



**Görsel 7. Süleyman Paşa Camii-1906 (Solda), Süleyman Paşa Cami-2022 (Sağda),
(Kiel Fotoğraf Arşivi)**

3. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Turizm destinasyonları oluşturulurken geçmiş kültürlerin izleri, yaşam tarzı, el sanatları, kültürel temaslar, inanç sistemleri, eğlence biçimleri ve yöresel mutfak kültürlerini yerinde görme arzuları dikkate alınmaktadır. Dünya üzerindeki toplumlarda eğitim seviyesinin belirli seviyeye gelmesi ile birlikte özellikle orta yaş ve üzeri bireylerin, dünyadaki farklı bölgelerde meydana gelmiş kültürel çeşitlilik ve kültürel birikimler ile yapılmış mimari eserleri yerinde görerek inceleme isteği günümüz uluslararası turizmin geldiği noktayı ortaya koymaktadır. Bu nedenle turizm hareketliliğinin yoğunluk kazandığı turizm bölgelerinde kültürel değerlerimizi koruyarak tanıtma konusunda atılan adımlar sonucu “kültürel zenginliği” olan kentler önemli turizm destinasyonları haline gelmiştir.

Travnik şehri tarih öncesinden itibaren yerleşime açık olmuş ve pek çok arkeolojik bulgunun yanı sıra para, seramik ve Roma dönemine kadar inen yapı kalıntılarının bulunduğu bir yerleşme yeri olarak bilinmektedir. Travnik tarihinin erken dönemlerinden itibaren, özellikle çalışma konumuz olan Osmanlı kültür mirasını global anlamda sürdürülebilir turizm anlayışına uygun bir şekilde koruma altına alarak sahip olduğu zenginliği ortaya çıkartmak adına somut adımlar atılmalıdır. Böylelikle Dünya Turizm Örgütü verilerine bakıldığında önemli bir alternatif turizm türü olarak ön plana çıkan kültürel miras turizmi kapsamında

Travnik, hem bölgesel kalkınmaya hem de kültürel mirasın korunarak gelecek nesillere aktarılmasına katkı sağlayabilir. Bu bağlamda, Osmanlı dönemine ait eserlerin restorasyonu, dijitalleştirilmesi ve uluslararası tanıtımı, sürdürülebilir turizm stratejilerinin temel unsurlarından biri olmalıdır. Ayrıca, yerel halkın turizm süreçlerine katılımı sağlanarak ekonomik faydalar geniş bir tabana yayılabilir. Travnik'in kültürel ve tarihî zenginlikleri, bu yaklaşımla bölgeyi önemli bir cazibe merkezi haline getirebilir.

Dünya Turizm Örgütü'nün sürdürülebilir turizm ilkeleri çerçevesinde, Travnik'in kültürel mirasının tanıtımı ve korunması, yalnızca bölgesel değil, uluslararası ölçekte de dikkat çekebilir. Turizm altyapısının geliştirilmesi, özellikle çevreye duyarlı tesislerin kurulması ve kültür rotalarının oluşturulması, şehri alternatif turizm türleri arasında üst sıralara taşıyabilir. Bunun yanı sıra, eğitim programlarıyla hem yerel halka hem de ziyaretçilere kültürel mirasın değeri aktarılabilir ve bu sayede turizm, kültürle harmanlanarak daha derin bir deneyim sunabilir. Bu tür çalışmalar, Travnik'in hem kültürel hem ekonomik anlamda sürdürülebilir bir geleceğe sahip olmasına olanak tanıyacaktır.

KAYNAKÇA

- Bayram, S., (2015). Travnik Günlüğü ve Kadı Köse Adlı Romanların Penceresinden Osmanlı-Müslüman Dünyasına Bakış, Turkish Studies International Periodical For The Languages, Literature And History Of Turkish Or Turkic, Volume 10/16fall2015, P. 341-354doi Number: [Http://Dx.Doi.Org/10.7827/Turkishstudies.8842](http://Dx.Doi.Org/10.7827/Turkishstudies.8842)issn: 1308-2140, Ankara-Turkey.
- Canyurt, F., (2016). Travnik Şehrindeki Osmanlı Mimarisi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sanat Tarihi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Tez Danışmanı: Prof. Dr. Halit Çal, Ankara.
- Uyaniker, A., Ve Akçakaya, O., (2018).1877-1895 Yıllarında Hersek, Saraybosna, Travnik, Banaluka Sancaklarından Türkiye'ye Gelen Göçmenler, 1 St International A Luminary A Country Symposium, Full Paper Proceedings, Aliye Izetbegovic And Bosnia-Herzegovina.
- Nureski, D., (2016). Osmanlı'dan Günümüze Makedonya'daki Türk Kültürü Ve Makedonya'nın Türk Kültür Tarihindeki Yeri Ve Önemi, Türk Cooperation And Koordination Agency , Avrasya Etüdüleri 50/2016-2 (351-388).
- Karacan, S., Karacan, E., Güngör Y., (2017). Osmanlı Dönemine Ait Kültürel Zenginliğin Bosna-Hersek Cumhuriyetinde Turizm Açısından Değerlendirilmesi, International Journal Of Tourism, Economic And Business Sciences Uluslararası Turizm, Ekonomi Ve İşletme Bilimleri Dergisi E-Issn: 2602-4411, 1 (2): 49-56, 2017.
- Djurđjev, B., (1992). Bosna-Hersek "1991'de Bağımsızlığını İlan Eden Ve Eski Yugoslavya'yı Oluşturan Federe Cumhuriyetlerden Biri", Türk Diyanet Vakfı, İslâm Ansiklopedisi, Cilt 6, Syf.297-305.
- Kiel, M., (2012). Travnik "Bosna-Hersek'te Tarihî Bir Kasaba", Türk Diyanet Vakfı, İslâm Ansiklopedisi, Cilt 41,Syf.308-311.
- Machiel Kiel Fotoğraf Arşivi

- <https://gezimanya.com/travnik#:~:text=Travnik%20Kalesi,-Kentin%20belki%20de&text=Hristiyan%20Krall%C4%B1%C4%9F%C4%B1%20taraf%C4%B1ndan%20Osmanl%C4%B1%20ak%C4%B1nlar%C4%B1na,kentin%20en%20iyi%20korunmu%C5%9F%20eseridir.> (Erişim Tarihi: 14.08.2024)
- <https://www.google.com/maps/place/Travnik,+Bosna+Hersek/@44.227452,17.6400826,3825m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x475effdc256dfe7b:0xa2554f47dfb08d92!8m2!3d44.2293783!4d17.6429578!16zL20vMDM1M21u?entry=ttu> (Erişim Tarihi: 15.08.2024)
- <https://www.osmanli-eserleri.com/eser/travnik-kalesi-travnik-bosna-hersek> (Erişim Tarihi: 14.08.2024)
- <https://www.openstreetmap.org/?mlat=44.22993&mlon=17.67088#map=19/44.229956/17.670464> (Erişim Tarihi: 14.08.2024)
- https://www.tripadvisor.com.tr/Attraction_Review-g2227146-d4451246-Reviews-Stari_Grad_Old_Town_Travnik-Travnik_Central_Bosnia_Canton_Federation_of_Bosnia_a.html#/media-attraction/4451246/568966886:p/?albumid=-160&type=0&category=-160 (Erişim Tarihi: 15.08.2024)

ŞENKAYA KÖMÜRÜNÜN SÜPÜRMELİ ve TEMİZLEMELİ FLOTASYON YÖNTEMİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ ENRICHMENT OF ŞENKAYA COAL WITH SWEEPING AND CLEANING FLOTATION METHOD

Doç. Dr. Öykü BİLGİN

Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ykbilgin@yahoo.com

ORCID ID: 0000-0002-1276-5751

ÖZET

Kömür, yapısındaki kül oranının azaltılması ile daha kaliteli hale gelmektedir. Bunun için zenginleştirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. İnce tane boyutta kömürlerin zenginleştirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri flotasyon(köpük ile yüzdürme işlemi) ile zenginleştirme yöntemidir. Flotasyon yönteminde; kömür içerisindeki gang minerallerinin (kil, kuvars, kalsit, feldspat, demir, sülfürler vb.) ayrılması için pH ayarlayıcı, canlandırıcı, bastırıcı, toplayıcı ve köpürtücü reaktifler kullanılmaktadır. Bu çalışmada; Erzurum ilinin Şenkaya ilçesi açık işletme maden ocağından alınan kömür numuneleri, çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra, elek analizine ve her tane sınıfında kül, kalori ve nem analizine tabi tutulmuştur. Daha sonra belirlenen flotasyon koşullarında süpürmeli ve temizlemeli olmak üzere aşamalı olarak flotasyon yöntemi uygulanmış ve numunenin % kül verimleri, % yanabilir verimleri belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre; kül oranı % 8,85 olan kaliteli kömür konsantresi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kömür, flotasyon, kül, zenginleştirme

ABSTRACT

Coal becomes higher quality by reducing the ash content in its structure. For this purpose, enrichment methods are needed in coal. One of the most widely used methods for enrichment of fine-grained coals is the enrichment method with flotation (foam flotation process). In the flotation method; pH adjuster, revitalizer, suppressor, collector and foaming reagents are used to separate the gangue minerals (clay, quartz, calcite, feldspar, iron, sulfides, etc.) in the coal. In this study; coal samples taken from the open pit mine in Senkaya district of Erzurum province were subjected to sieve analysis and ash, calorific value and moisture analysis in each particle class after being crushed in a jaw crusher. Then, the flotation method was applied in stages as sweeping and cleaning under the specified flotation conditions and the % ash yields and % burnable yields of the sample were determined. According to the results; a quality coal concentrate with an ash ratio of 8.85% was obtained in test.

Keywords: Coal, flotation, ash, enrichment

1. GİRİŞ

Flotasyon yöntemi; çok ince tane boyutundaki ($< 0,5$ mm) cevherlerin fizikokimyasal, yüzey kimyası ve kolloidler kimyası ilkelerine istinaden köpükle cevherin yüzdürülmesi ile zenginleştirme işlemidir. Flotasyon yönteminin kömür zenginleştirmede uygulanmasındaki amaçlar;

- Kül miktarını azaltmak
- Kükürt miktarını azaltmak
- Yıkama suyu içerisinde kalan toz kömürleri kazanmak
- Lavvardan atılan siyah proses suyunu temizlemek
- İçerisindeki çeşitleri mineralleri uzaklaştırıp, koklaşabilir ürünler hazırlamaktır.

Bu yöntemde; kömürleşme dereceleri, kimyasal bileşimleri, petrografik bileşimleri, yüzey oksidasyonu gibi etkenler zenginleştirmeyi etkilemektedir. Kömür doğal olarak yüzebilen bir madendir (Atak ve Toroğlu, 1990). Ancak, flotasyonu kolaylaştırıcı organik bileşiklerin (nötr yağlar) kullanılması gerekebilir. Kömür flotasyonunda kullanılan reaktifler;

- Non-polar reaktifler (toplayıcı); hidrokarbon yağlar, gazyağı, fuel oil vb.
- Heteropolar reaktifler (köpürtücüler); aromatik alkoller, alifatik alkoller, eterler vb.
- Kireç, Na_2SiO_3 (sodyum silikat), FeSO_4 , Na_2CN (Sodyum siyanür) vb. ' dir.

Kömür flotasyonunda etki eden parametreler; tane iriliği, kömürün petrografik yapısı, sudaki katı/sıvı oranı, pH değeri, sıcaklık, flotasyon süresi, karıştırma hızı, kullanılan reaktifler ve flotasyon makinasıdır (Çetinkaya, 1994).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada; Erzurum ilinin Şenkaya ilçesinde faaliyet gösteren açık işletme kömür ocağından alınan kömür numuneleri kullanılmıştır. Kömür numunesinin alındığı numune koordinatları (Bilgin, 2019) Çizelge 1' de verilmektedir.

Çizelge 1. Kömür Numunesi Koordinatları

Nokta	Y	X	Yükseklik(m)
1	38T 268 224 D	45 195 4K	1357
2	38T 268 245 D	45 195 6K	1357

Kömür numunesi daha sonra elek tane boyutlarına göre %kül, %nem ve %kalori analizlerine tabi tutulmuştur. Çizelge 2' de elek tane boyutlarına göre analiz sonuçları verilmektedir. Buna göre besleme malının kül oranı %49,40, kalori değeri de 3052 Kcal olarak tespit edilmiştir. Tane boyutlarına göre incelendiğinde; +12,5mm, -12,5+9,51mm ve -9,51+3,35mm tane boyut aralıklarında kül oranlarının %50' nin üzerinde olduğu görülmektedir. -3,35+2mm, -2+1mm, -1+0,5mm, -0,5+0,106mm ve -0,106mm tane boyut aralıklarında ise kül oranlarının ortalama yaklaşık %45 civarında olduğu söylenebilir. Kül oranına bağlı olarak kalori değerleri de yaklaşık ortalama 3300Kcal'dir.

Çizelge 2. Elek Tane Boyutuna Göre Analiz Sonuçları

Tane İriliği(mm)	Kül(%)	Nem(%)	Kalori(Kcal)
------------------	--------	--------	--------------

Besleme Malı	49,40	6,98	3052
+12,5	53,71	6,99	2732
-12,5+9,51	56,34	6,86	2324
-9,51+3,35	51,39	6,72	2892
-3,35+2	46,63	6,67	3290
-2+1	46,85	6,38	3276
-1+0,5	49,17	6,45	3065
-0,5+0,106	42,18	6,52	3565
-0,106	45,07	6,07	3385

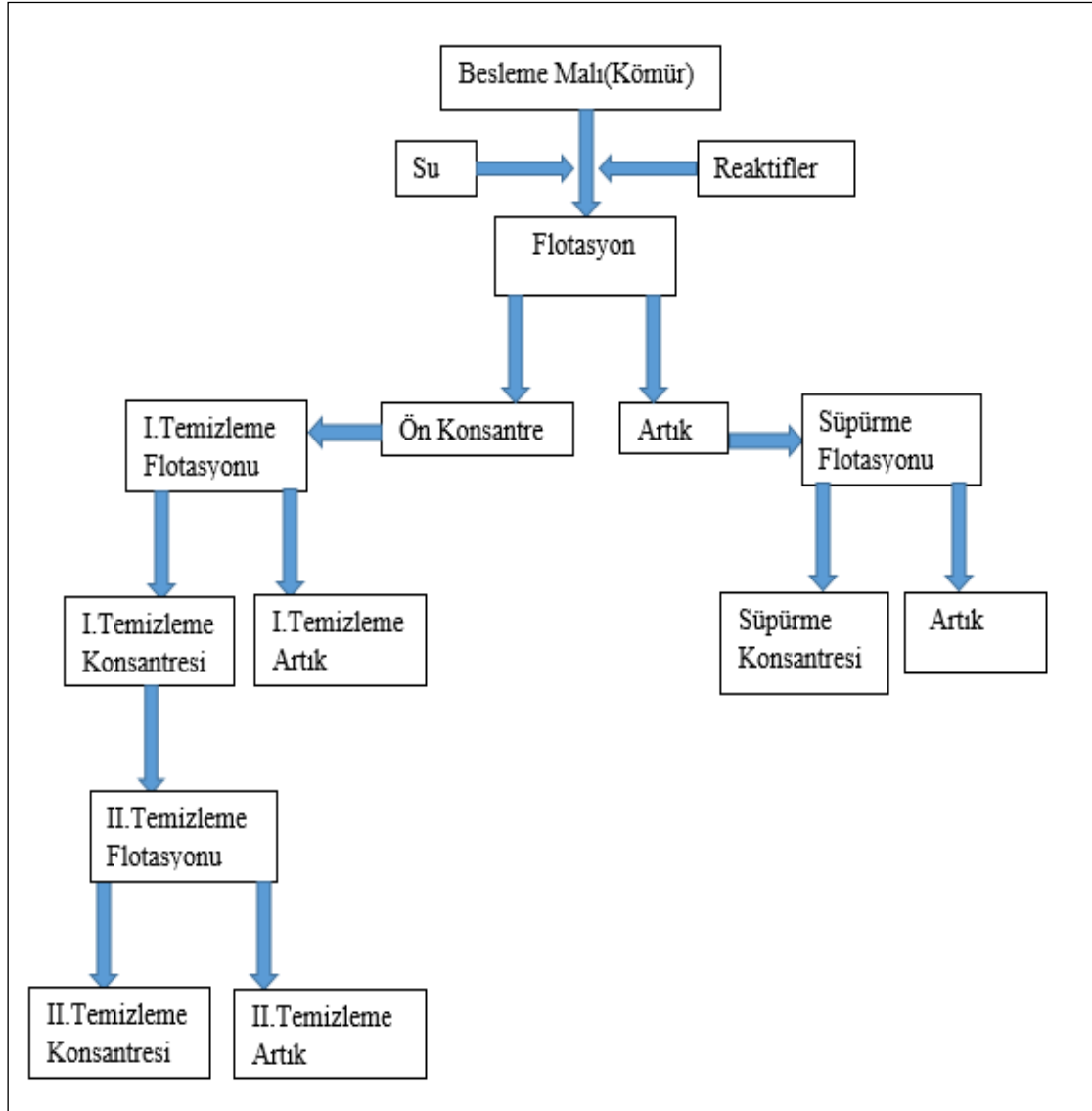
2.1. Flotasyon ile Zenginleştirme Deneyi

Kömür numunesinin genel özellikleri belirlendikten sonra zenginleştirme deneyi için Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Zenginleştirme Laboratuvarında yer alan Denver laboratuvar tipi Flotasyon cihazı kullanılmıştır. Uygulanabilir flotasyon koşulları belirlendikten sonra deney gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3’te uygulanabilir flotasyon deney koşulları verilmektedir.

Çizelge 3. Uygulanabilir Flotasyon Deney Koşulları

Flotasyon1	Flotasyon2	Flotasyon3	Temizlemeli Flotasyon
Tane iriliği: -1 mm Katı oranı:%30 pH: 5 Bastırıcı: %5 lik Na ₂ SiO ₂ = 1kg/ton Köpürtücü: %1 lik çamyağı =30 gr/ton Flotasyon süresi:10 dk. Karıştırma hızı:1300 dev/dak. Konsantre ve Artık elde edilir.	Katı Oranı:%10 pH: 7,5 Bastırıcı:2000 gr/ton Na ₂ SiO ₂ Toplayıcı: 500-6000 gr/ton gaz yağı Köpürtücü: 100 gr/ton Flotal B Karıştırma Hızı:1000 dev/dk. Zaman:5 dk.	200 ml = 40 gr Fuel Oil +160 gr Mazot 3ml Na ₂ SiO ₂ = 3 kg/ton için (2 dk kondüsyonlama) Fuel Oil + Mazot =0,6 ml (5 dk kondüsyonlama) Çam yağı 3 ml= 300 gr/ton (5 dk kondüsyonlama) Köpük al 1200 dev/ dakika	pH:5 %5 lik Na ₂ SiO ₂ = 250 gr/ton Flotasyon süresi:5 dk. Temiz konsantre kömür ve ara ürün elde edilir.

Flotasyon deneyi akım şeması Görsel 2’ de gösterilmektedir. Buna göre besleme malı olan kömür numunesi su ve reaktifler ile flotasyon kabında tane iriliği 1 mm altında, karıştırma hızı 1300 dev/dak., pH:5, bastırıcı: %5 lik Na₂SiO₂ = 1kg/ton, köpürtücü: %1 lik çamyağı =30 gr/ton, flotasyon süresi:10 dk koşullarına göre konsantre ve artık elde edilmiştir. Daha sonra ön konsantreden I. Temizleme Flotasyonu uygulanmış ve I. Temizleme Flotasyonu konsantresi ve artığı elde edilmiştir. Daha sonra tekrar I. Temizleme Flotasyonu konsantresi ve artığı elde edilmiştir. Son olarak ilk elde edilen flotasyon artık ürünü de süpürme flotasyonuna tabi tutulmuş ve süpürme konsantresi ve artığı elde edilmiştir.



Görsel 2. Flotasyon Deneş Akım Şeması



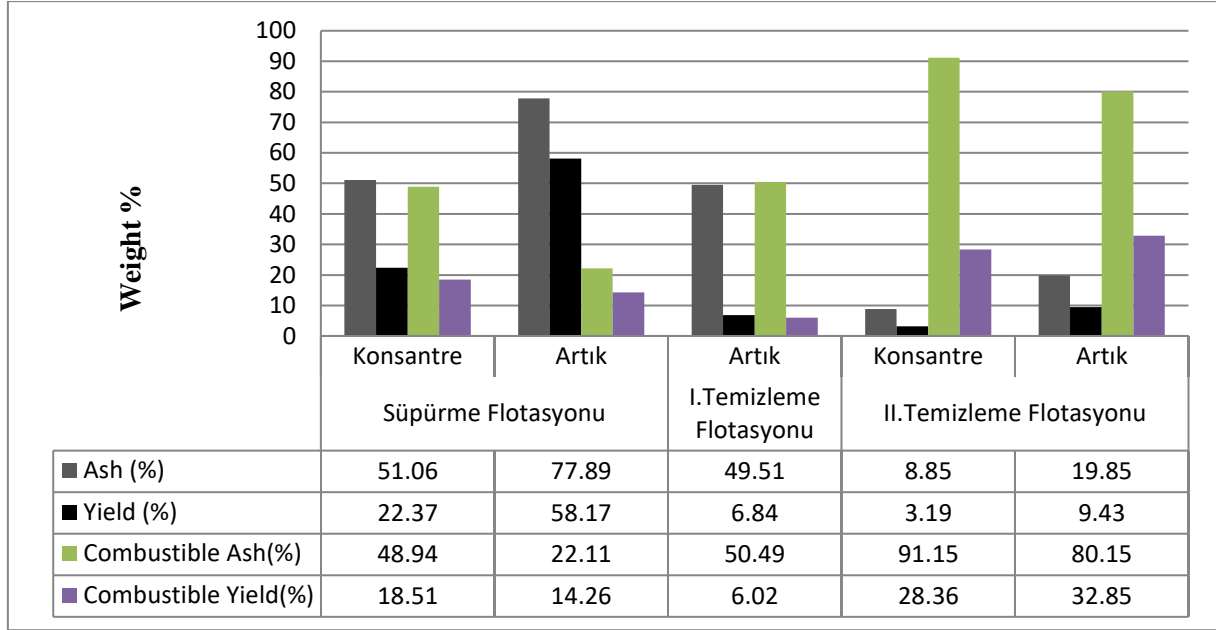


Görsel 3 Flotasyon Zenginleştirme Deneyi

Görsel 3’te flotasyon zenginleştirme deneyi aşamaları sırasıyla gösterilmektedir. Daha sonra elde edilen ürünlerin analizleri % ağırlık ve %kül analizleri yapılmış ve %yanabilir verim ve % kül verim analizleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4 Süpürmeli ve Temizlemeli Flotasyon ile Zenginleştirme Sonuçları

Malzeme (Kömür)	Ağırlık (%)	Kül (%)	Yanabilir (%)	Kül İçerik	Yanabilir İçerik	Kül Verim (%)	Yanabilir Verim (%)
Süpürme Konsantresi	20,30	51,06	48,94	1036,52	993,48	22,37	18,51
I.Temizleme Artık	6,40	49,51	50,49	316,86	323,14	6,84	6,02
II. Temizleme Konsantresi	16,70	8,85	91,15	147,80	1522,21	3,19	28,36
II. Temizleme Artık	22,00	19,85	80,15	436,70	1763,30	9,43	32,85
Nihai Artık	34,60	77,89	22,11	2694,99	765,01	58,17	14,26
Toplam	100,00	46,33	53,67	4632,87	5367,00	100,00	100,00



Görsel 4. Zenginleştirme Sonrası Ürünlerin % Kül ve % Verim Oranları

Çizelge 4’te süpürmeli ve temizlemeli flotasyon ile zenginleştirme sonuçları verilmektedir. Daha sonra elde edilen ürünlerin sonuç grafikleri çizilmiştir. Görsel 4’de zenginleştirme sonrası ürünlerin % kül ve % verim oranları gösterilmektedir.

3. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Kömür numunesinde genel bir flotasyon yöntemi uygulandıktan sonra, artık numuneye süpürmeli flotasyon ve elde edilen konsantreye de 2 aşamalı temizlemeli flotasyon yöntemi uygulanmıştır. Sonuç olarak süpürme flotasyonundan elde edilen konsantre ürünün külü %77,88 verimle %51,06 olmuştur. Kül oranının burada yüksek olması normaldir. Çünkü süpürmeli flotasyon yöntemi artık numunesine uygulanır. I. Temizleme flotasyon yönteminden elde edilen artık ürünün külü de %49,51 olmuştur. II. Temizleme flotasyon sonucunda elde edilen konsantre ürünün külü %8,85 ve artığın külü de %19,85 olarak tespit edilmiştir. Konsantrenin yanabilir kül %91,15 ve artığın yanabilir külü de %80,15 olarak hesaplanmıştır. Konsantrenin yanabilir verimi %28,36 ve artığın da yanabilir verimi % 32,85 olmuştur. Bu sonuçlar incelendiğinde; II. Temizleme flotasyondan sonra ürünlerin hem konsantre hem de artık olarak, hem % kül oranları azalmış hem de yanar kül ve verimleri artmıştır.

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada deneylerin gerçekleşmesinde katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Tayfun ÇİÇEK hocama teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

1. Çetinkaya, A., *Zonguldak Merkez Lavvar Şlamı Flotasyonunda Bazı Reaktiflerin Etkinliğinin Araştırılması*, Diploma Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, 1994.
2. Atak, S., Toroğlu, İ., Türkiye Kömürleri ile Flotasyon, İ.T.Ü Dergisi, Cilt 48, No: 4, İstanbul, 1990.
3. Bilgin, O., Investigation and Comparison of the Enrichment Potential of Turkey (Şenkaya, Erzurum) Coals with Knelson Concentrator, *Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID 9036047, 2019.

DEĞER AKIŞ HARİTALAMA VE KİMYA SEKTÖRÜNDE ÜRETİM SÜREÇLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK BİR UYGULAMA

Zeynep Ece ÖZDEMİR

Endüstri Mühendisi

zeynepecezdmr@gmail.com – 0009-0006-9803-0276

Doç.Dr. Yusuf Sait TÜRKAN

İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

ysturkan@iuc.edu.tr – 0000-0001-7240-183X

ÖZET

Hızla artan rekabet koşullarında firmalar varlıklarını sürdürebilmek adına sürekli iyileştirmeye yönelik projeler gerçekleştirmek durumundadır. Sürekli iyileştirmeyi esas alan yalın üretim anlayışında değer akış haritalama yöntemiyle mevcut süreçler analiz edilebilmekte ve değer akışını tesis edebilmek adına en doğru iyileştirmeler planlanabilmektedir. Bu çalışma kapsamında kimya sektöründe önde gelen bir firmanın üretim süreçlerinden biri üzerinde değer akış haritalama ile bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle incelenen sürecin mevcut durum haritası çıkarılmıştır. Bu mevcut durum haritası üzerinden tüm operasyonlar ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve iyileştirmeye açık alanlar belirlenmiştir. Planlanan iyileştirmeler için bir gelecek durum haritası oluşturulmuştur. Gelecek durum haritasında iyileştirme faaliyetlerinin etkisi gösterilmiştir. Yalın üretim tekniklerinden de yararlanan farklı iyileştirme çalışmaları ile depo kullanımı optimize edilmiş, taşıma maliyetleri azaltılmış ve belirli operasyonlarda çevrim süreleri kısaltılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yalın Üretim, Değer Akış Haritalama, Üretimde Süreç İyileştirme

VALUE STREAM MAPPING AND AN APPLICATION FOR IMPROVING PRODUCTION PROCESSES IN THE CHEMICAL INDUSTRY

ABSTRACT

In rapidly increasing competitive conditions, companies have to carry out projects aimed at continuous improvement in order to sustain their existence. In the lean manufacturing approach based on continuous improvement, current processes can be analyzed with the value stream mapping method and the most accurate improvements can be planned in order to establish the value stream. The present study involved a review of a production process at a leading chemical company. In this review, value stream mapping was employed to assess the process. In this context, first of all, the current status map of the examined process was created. All operations were examined in detail on this current state value stream map and areas open to improvement were determined. A future state value stream map was created for the planned improvements. The impact of the improvement activities was shown in the future status map. With different improvement studies that also benefited from lean production techniques, warehouse usage was optimized, transportation costs were reduced and cycle times were shortened in certain operations.

Keywords: Lean Production, Value Stream Mapping, Process Improvement in Production

1. GİRİŞ

Günümüz yüksek rekabet koşullarında firmalar sürekli olarak ürün ve süreç kalitesini iyileştirici çalışmalar yapmak durumundadır. Kalite iyileştirme çalışmalarının yanı sıra firmalar maliyetleri azaltmaya ve teslimat ve hizmet koşullarını iyileştirmeye yönelik çalışmalar gerçekleştirmektedir. Bu amaçla son yıllarda başta üretim sektörü olmak üzere birçok sektörde yalın üretim anlayışı yaygınlaşmaya başlamıştır. Yalın üretim gereksiz unsurları içermeyen, stok, işgücü, kayıplar, hatalar gibi ek maliyet oluşturan faktörleri minimize eden bir üretim sistemi olarak tanımlanmaktadır (Shukla, 2005). Yalın üretimin kökenini 1940'larda II. Dünya Savaşı sonrası Japonya'da Toyota fabrikasında geliştirilen Toyota Üretim Sistemi (TPS) oluşturmaktadır (Rand vd., 1997). Bu anlayış, ürünler ya da hizmetler için müşterinin para vermeyi kabul edebileceği değer belirlenmesini, ürünlerin değer akışının tanımlanmasını, değere ait kesintisiz akışın sağlanmasını, değer üretimden çıkması için çekme sisteminin tesis edilmesini ve tüm iyileştirmelerin sürekliliğinin sağlanarak mükemmelliğin sağlanmasını içeren beş temel prensibe sahiptir (Womack, 2003).

Yalın anlayış genellikle “kalabalık ve fazlalıklardan arındırılmış sistem” (Bateman, 2009) olarak tanımlanmaktadır. Yalın üretim anlayışının tesis edilebilmesi adına çok farklı teknikler uygulanabilmektedir. Bu uygulamalar ile akış süresi kısaltılarak iyileştirmelerin ortaya çıkması hedeflenmektedir. Literatüre bakıldığında yalın üretim için “Stoksuz Üretim”, “Tam Zamanında Üretim”, “Toyota Üretim Sistemi” gibi farklı ifadeler kullanılabilmektedir (Okur, 2005). Taiichi Ohno ve Eji Toyoda Ford’un fabrikasını incelemişler kitlesel imalatın esnek olmadığını ve birçok israf içerdiğini görmüşlerdir. Böylece Ford’un kitlesel üretim felsefesinin Japonya’ya uygun olmadığına karar vermişlerdir (Melton, 2005). Bu yüzden Toyota kendi sistemlerine uygun yeni bir anlayış ortaya koymuş ve sonrasında bu felsefe yalın üretim anlayışına dönüşmüştür. Toyota’nın benimsediği bu sistem zamanla birçok Japon firmasında ve sonrasında dünyadaki diğer firmalarda kullanılmaya başlanmıştır.

Yalın felsefenin amacı ürün veya hizmetin değerinin sürekli artırılmasıdır (Dickson, 2009). Yalın felsefe, müşteri memnuniyetinin tam da müşterinin ortaya koyduğu değer dikkate alınarak tesis edilmesini, bununla birlikte israflara odaklanılarak maliyet ve teslimat sürelerinin sürekli azaltılarak karlılığın artırıldığı bir anlayış sunmaktadır. Bu amaçla yalın üretim anlayışında öncelikle müşteriler açısından değer belirlenerek, üretimin ilk aşamasından son aşamasına kadar belirlenen bu değer doğrultusunda faaliyetler israflardan arındırılır. Böylece hem teslim süreleri minimize edilebilmekte hem de zaman, enerji, malzeme gibi tüm kaynakların daha verimli şekilde kullanılması sağlanabilmektedir.

Değer akışının tesis edilmesi yalın üretimdeki beş ana prensipten biridir (Havn vd., 1990). Değer Akış Haritalama (DAH) farklı yalın üretim teknikleri için mevcut fırsatların ortaya çıkartılmasında kullanılan temel bir araçtır (Abdulmalek ve Rajgopal, 2007). DAH yardımıyla mevcut sistem analiz edilebilmekte ve harita üzerinde kapsamlı değerlendirmeler yapılabilmektedir. Değer akışının tanımlanması ve tartışılması için oluşturulan harita, işlemlere ait süreleri, bekleme süresi de dahil olmak üzere teslim sürelerini ve ilk seferde kalitenin tesis edilmesine yönelik zaman yüzdeleri gibi farklı anahtar ölçümleri içermektedir (Kim ve diğ., 2006). Literatürde yalın üretim çalışmaları incelendiğinde, otomotive sektöründe (Özkan vd., 2005; Lacerda vd. 2015), demir çelik sektöründe (Abdulmalek ve Rajgopal, 2007), yapı inşaat sektöründe (Freire ve Alarcon, 2002) ve kimya sektöründe (Schmidtke vd. 2014) DAH’dan yararlanılarak gerçekleştirilen iyileştirme çalışmaları bulunmaktadır.

Gerçekleştirilen çalışmada ilk olarak kimya sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın süreçleri, mevcut durum değer akış haritası oluşturularak incelenmiştir. Sonrasında hangi alanlarda ne tür yalın teknikler yardımıyla iyileştirmeler yapılacağı tartışılmıştır. Çalışma bir proje kapsamında ele alındığından, projedeki zaman ve maliyet kısıtları da dikkate alınarak tüm aşamalarda iyileştirmeler yerine öncelikli alanlara odaklanılarak bu alanlardaki iyileştirmeler üzerinde çalışılmıştır. Karar verilen iyileştirme çalışmaları sonrasında ortaya çıkan durum için gelecek durum haritası oluşturulmuş ve gerçekleştirilen iyileştirmeler değerlendirilmiştir.

Çalışmanın giriş bölümünden sonraki bölümde yalın üretim, yalın üretimde odaklanılan israflar ve yalın prensipler açıklanmıştır. Sonraki bölümde ise yalın değer akış haritalama

metodu ele alınmıştır. Dördüncü bölüm yapılan gerçek hayat uygulamasının ele alındığı bölümdür. Bu bölümde öncelikle uygulama yapılan firma ve süreçleri açıklanmış ve iyileştirme alanları hakkında bilgiler verilmiştir. Mevcut değer haritası ile gelecek durum haritasının paylaşıldığı bu bölümde ayrıca dört farklı alanda yapılan iyileştirmeler de açıklanmıştır. Son bölüm olan sonuç bölümünde çalışmanın ve elde edilen bulguların genel bir değerlendirmesi paylaşılmıştır.

2. YALIN ÜRETİMDE İSRAFLAR VE YALIN PRENSİPLER

Günümüz yüksek rekabet koşullarında firmalar sürekli olarak ürün ve süreç kalitesini iyileştirici çalışmalar yapmak durumundadır. Kalite iyileştirme çalışmalarının yanı sıra firmalar maliyetleri azaltmaya ve teslimat ve hizmet koşullarını iyileştirmeye yönelik çalışmalar gerçekleştirmelidir. Bu amaçla son yıllarda başta üretim sektörü olmak üzere birçok sektörde yalın üretim anlayışı yaygınlaşmaya başlamıştır. Yalın üretim gereksiz unsurları içermeyen, stok, işgücü

Yalın üretimde israfları belirlemek çok önemlidir, İsrâf, değer yaratmayan müşterilerin bedel ödemeyi kabul etmeyeceği her şeydir. Müşterilerin kim olduğunu belirlemek ve değer olarak gördükleri adımları belirlemek gerekir. Değeri belirledikten sonra da hangi adımların israf olduğu anlaşılır. İsrâflar, süreci yavaşlatır hatta durmasına bile sebebiyet verebilirler. Yalın üretim anlayışında israflar; gereksiz taşıma, gereksiz hareket, stok, bekleme, gereksiz işlem, fazla üretim, hatalar olmak üzere yedi büyük israf olarak tanımlanmıştır (Ohno ve Bodek, 2019). Sonrasında bu israflara yanlış kullanılan kaynaklar da eklenmiştir. Bu israflar kısaca şu şekilde özetlenebilir;

- Gereksiz Taşıma: Taşıma ürüne değer katmayan bir adımdır. Buradaki taşıma hammadde, ara ürün veya bitmiş ürünlerin taşınmasıdır. Uygun olmayan tesis yerleşiminden, süreçlerdeki gereksiz adımlardan, uzun termin sürelerinden, depolardaki yüksek stoklardan kaynaklanabilir. Gereksiz taşıma teslim sürelerinde gecikmeye sebep olabilir ayrıca ürünün kalitesini etkiler, parçaların kaybolmasına veya zarar görmesine neden olabilir. Bu israfın ortadan kaldırılması için yerleşimde iyileştirmeler yapılabilir.
- Gereksiz Hareket: Çalışanların ürüne değer katmayan her hareketi israf olarak değerlendirilir. Gerekli ekipmanı getirmek üzere hareket eden çalışanlar, makine operatörlerinin farklı ortamlar arasındaki hareketi zaman alan ancak ürüne katma değer sağlamayan hareketlerdir. Ayrıca bu adımlar çalışanlar için yorucu olduğundan üründe kalite sorunlarına sebebiyet verebilir. Ergonomik olmayan çalışma koşulları, standardizasyon eksikliği gereksiz insan hareketine sebep olabilir. Gerekli ekipmanların yakında ve hazır şekilde gerekli kontrollerinin yapılmış halde bulundurulması, bir akış sağlanması, çalışma ortamının ergonomik hale getirilmesi ile gereksiz insan hareketi azaltılabilir.
- Stok: Gereğinden fazla hammadde, malzeme veya yarı mamule sahip olmak israf olarak değerlendirilir. Üretimdeki problemler stoklar tarafından gizlenebilir. Bu ise uzun vadede daha büyük sorunlara yol açmaktadır. Stoklar yüksek depolama ve nakliye maliyetlerine sebep olur. Hızlı değişen müşteri talepleri karşısında stokların elde kalması söz konusu olabilir ve bu da daha ciddi maddi kayıpları ortaya çıkarır. Stoklar için oluşturulan fon işletmede başka alanlarda daha verimli şekilde

kullanılabilir. Stokları azaltmak için tedarikçilere yakın konumlanıp iyi ilişki kurmak, sadece müşterinin talebi kadar üretim yapmak gerekir.

- **Bekleme:** Bekleme çalışanların veya makinelerin işlem görmemesidir. Beklemelere dengesiz iş yükü, planlanmamış duruşlar, uzun kurulum süreleri, düşük süreç kalitesi, gereken araç ve malzemelerin olmaması gibi durumlar neden olabilir. Bir operasyonda makinenin çalışırken operatörün hiçbir şey yapmadan makine başında beklemesi de bir israf oluşturabilmektedir. Bazı durumlarda makine çalışırken çalışanın başka işleri tamamlaması bu israfı azaltabilecektir. Bekleme israfını azaltmada üretim hattının dengede olması ve tüm çalışan ve ekipmanların hiç bekleme yapmayacak şekilde iş istasyonlarına atanması temel amaçtır. Çalışan ve makinelerin boşta kalma süreleri tespit edilip boş zamanlar katma değerli işler ile doldurulmalıdır. Üretim sürecinde akış elde edilip ve sürecin standartlaştırılması gerekmektedir.
- **Gereksiz İşlem:** Müşteri talebini karşılamak için gerekli olmayan, değer katmayan işlem veya süreçler anlamına gelmektedir. Müşterinin isteği olmayan tasarımların, büyük ve esnek olmayan tezgahların, gereksiz kalite kontrollerin süreçten çıkarılması bu israfı azaltabilir.
- **Fazla-Aşırı Üretim:** Bir sonraki istasyonun ya da müşterinin ihtiyacı olandan fazla yapılan üretimdir. Fazla üretim mamullerin birikmesine, üretimdeki hataların gizlenmesine, kalite problemlerinin ortaya çıkmasına, teslimat sürelerinde gecikmelere neden olmaktadır. Fazla üretim kapasitenin üstündeki üretimdir. Aşırı üretimde terminlerin yetiştirilebilmesi adına fazla mesailer, ara stoklar ve planlama sıkışıklıkları nedeniyle oluşan planlama hataları birim maliyetlerin artmasına neden olur. Ayrıca aşırı üretim, terminlere yönelik yoğunluk ve baskı nedeniyle işletmelerin iyileştirme çalışmalarına odaklanamamalarına ve doğru stratejik hamleler yapamamalarına neden olmaktadır. Bunun için aşırı üretim tüm israflar içinde en tehlikeli israf olarak ifade edilmektedir.
- **Hatalar:** Müşterinin istekleri dışında üretilen ürünler ve yapılan işlemlerdir. Hatalı ürünlerin bir kısmı hurdaya ayrılırken bir kısmının ise yeniden işlenmesi gerekebilir. Hatalı üretim, kusurlar, ürün hataları, hurda ve tamirler gibi israflardır. Maliyet ve zaman kaybına neden olurlar. Bu da teslimatların gecikmesi, karın azalması gibi sonuçlar doğurabilir. Yetersiz kalite kontrol çalışması, eğitim eksikliği, müşteri isteklerini doğru anlayamama, standardizasyon eksikliğinden ortaya çıkabilir.
- **Yanlış Kullanılan Kaynaklar:** Bu israf esasında Toyota Üretim Sisteminde tanımlanmamış ve sonradan eklenmiş bir israf türü olmakla birlikte çok önemli bir israf türüdür. Çalışanların ve insan kaynakları dışındaki tüm kaynakların kabiliyet ve donanımlarına uygun alanlarda çalıştırılması yerine niteliklerine uygun olmayan alanlarda çalıştırılması bu israf kapsamında değerlendirilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda işletmelerin devamlılığında insan kaynaklarının finansal zenginlikten daha önemli olduğu ifade edilmektedir. Bu nedenle özellikle insan kaynaklarının doğru yönetilmesi ve doğru şekilde bu kaynaklardan yararlanılması büyük önem arz etmektedir.

Yalın üretimin anlayışında öncelikle değer müşteri açısından tanımlanması gerekir. Değer müşterinin satın almasını sağlayan özellikleri ifade eder. Mesela bir ürünün, müşterinin istediği renklerde olması müşterinin o ürünü almasını sağlayabilir. Yani üretim sürecindeki boyama işlemi müşteri açısından değer katan bir aktivitedir. Öte yandan üründeki kalite

kontrol işlemleri müşterinin bedel ödediği bir aşama değildir ve süreçten mümkün olabildiğince kaldırılması gerekmektedir. Kalite kontrol bakıldığı zaman gerekli bir aşama gibi görülse de önceki aşamalarda hata yapılmazsa kalite kontrol aşamasına da ihtiyaç duyulmayacak ve süreçten çıkarılabilecektir. Yalın üretim yaklaşımı beş ana prensipten oluşmaktadır (Womack, 2003). Bu prensipler kısaca şu şekilde açıklanabilir;

- **Değerin Tanımlanması:** Değer kavramı müşteri tarafından belirlenir ve her müşteri için farklı bir tanımı olabilir. Üreticiler de müşterilerin belirlediği bu değeri üretim süreçlerinde tanımlamaya ve tesis etmeye çalışırlar ancak bu çok da kolay bir iş değildir. Bunun için tüm süreçlerin ayrıntılı incelenmesi, analiz edilmesi ve uzman kişilerin görüşlerinin alınmasını gerektirir. Değer belirlendikten sonra değer oluşturmamayan aşamalar da ortaya çıkartılmış olur. Böylece katma değer oluşturmamayan işlerin süreçlerden çıkarılmasına yönelik tespit gerçekleştirilebilir.
- **Değer Akışı:** Değer akışı bir ürünü üretmek için hammaddeden bitmiş ürüne kadar ki süreçte, üreticiden müşteriye kadar olan tüm faaliyetleri içermektedir. Bu faaliyetler değer katan ve katmayan işler olabilir. Hemen her süreçte birçok israf bulunabilmektedir. Dolayısıyla verimliliğin sağlanması için bu israflar sistemden elimine edilmelidir. Değeri tanımlayıp israflar kaldırıldığında değer katan işlerin akış halinde gerçekleştirilmesini sağlamak yalın düşüncenin önemli bir ilkesidir.
- **Sürekli Akış:** Akış hammaddenin üretim süreci boyunca üreticiden müşteriye doğru, geriye dönüş gerektirmeyen hareketi olarak tanımlanabilir. Amacı darboğaz ve israfı ortadan kaldırarak verimlilik sağlamaktır. Akış için süreçler kesintisiz ve birbirleriyle bağlantılı olmalıdır. Akışı doğru şekilde hayata geçiren işletmelerde depolama, taşıma, stok gibi israflar ortadan kalkmış olur, bu da sürecin standart hale gelerek sistemin sorunsuz ilerlediği anlamına gelir. Bu sayede kalite ve verimlilik sağlanır. Ayrıca israflardan arındırılmış bir akış ile teslimat süreleri önemli ölçüde azalacak bu da işletmenin karlılığını artıracaktır.
- **Çekme:** Müşterinin çektiği kadar üretim yapılması ya da tedarik gerçekleştirilmesidir. Çekme işlemi işletme içindeki üretim emirlerinde ve tedarikçilerden yapılan alımlarda söz konusudur. Bu prensip müşterinin talebi sonrası üretim faaliyetlerinin tetiklenmesi ve çekme işlemlerinin gerçekleştirilmesi anlayışına dayanmaktadır. Müşteri istediği kadar ürünü son aşamadan çeker, son aşama da müşterinin çektiği kadar ürünü bir önceki aşamadan çeker. Bir ürünün üretilmesi için müşteri o ürünü talep etmelidir. Çünkü eğer üretilen ürün satılmıyorsa üretim yapmak anlamsızdır. Çekme sistemi bu adımda devreye girerek müşteri çekme yapmadan üretim yapılmaması üzerine kurulmuştur. İşletmeler çekme sistemini uyguladıklarında stoklar oluşmaz, kullanılan çalışma alanı maksimize edilir, fazla üretimin oluşturduğu israflar engellenir, talep değişimlerine hızlıca uyum sağlanarak esnek bir planlama gerçekleştirilebilir.
- **Mükemmeliyet:** İşletmedeki sürekli iyileştirme faaliyetlerinin her daim yapılabilmesi adına tüm çalışanlarda bunun temel bir anlayış haline getirilmesidir. Yalın üretim prensiplerine bakıldığında öncelikle değer tanımlandığı sonrasında tanımlanan değere göre bir akış oluşturulduğu görülür. Oluşturulan akışta müşteri istediği an ve miktarda ürünü çeker. Bununla birlikte tüm akış tetiklenmiş olur. Değer doğru şekilde belirlenmiş ve akış da en iyi şekilde tasarlanmış olsa bile zamanla yapılar değişmekte ve gelişmektedir. İşletmelerde mükemmellik sistemin tüm israflardan arındırılmış hale gelmesiyle oluşur. Mükemmellik teorikte basit gibi görünse de o noktaya ulaşmak pek mümkün değildir çünkü mükemmelliğin bir

sonu yoktur her zaman her yerde daha iyisi vardır. Ayrıca değişen koşullar yeni sistemler ve problemler anlamına gelir. Bu yüzden mükemmellik durumunu sürekli iyileştirme olarak görmek gerekir. Mevcut durum sürekli kontrol edilmeli ve hedefler sürekli güncellenerek daha iyisine ulaşmak hedeflenmelidir.

3. DEĞER AKIŞ HARİTALAMA

Değer akış haritalama (DAH), bir ürünün ya da ürün grubunun hammaddeden nihai tüketiciye ulaşmasına kadar geçen süreçteki tüm faaliyetlerin görselleştirilmesi ve analiz edilmesini sağlayan bir yöntemdir. Rother ve Shook (1999), değer akışını hem değer katan hem de değer katmayan tüm faaliyetlerin bir bütünü olarak tanımlamışlardır. Bu bağlamda DAH, değer akışındaki israf çeşitlerini tanımlamak ve bu israfları azaltmaya yönelik yalın üretim araçlarını belirlemek için kullanılan temel bir araçtır (Abdulmalek ve Rajgopal, 2007). Malzeme ve bilgi akışını görselleştirme sürecine dayanan DAH, iş süreçlerinde genellikle kağıt ve kalem kullanılarak çizilen haritalama yöntemiyle basit ve anlaşılır bir değerlendirme ve analiz imkanı sunar.

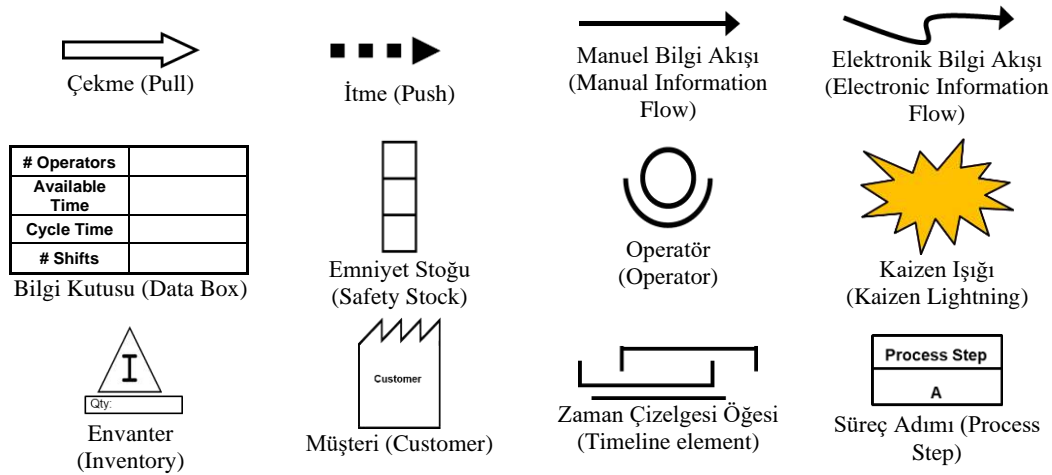
DAH, yalın üretim uygulamalarında kritik bir rol oynar. İlk adımda, iyileştirme çalışmaları için bir ürün veya ürün ailesi seçilir. Bu adım, analizin odak noktasını belirlemek ve daha sonra yapılacak çalışmaları bu çerçevede yönlendirmek açısından önemlidir. Sürecin bir sonraki aşamasında, mevcut durum haritası oluşturulur. Mevcut durum haritası, sistemin o anki işleyişini yansıtan bir "anlık fotoğraf" olarak düşünülebilir. Bu harita, sistemin güçlü ve zayıf yönlerini tanımlamak için bir temel oluşturur. Aynı zamanda, israfların tanımlanması ve sınıflandırılması için de güçlü bir araçtır. Mevcut durum haritası, belirli bir durumu açıklamak veya neden-sonuç ilişkilerini detaylandırmak yerine, sistemin genel bir görünümünü sunar. Bu harita, işlem süresi, teslim süresi ve ilk seferde kalite gibi kritik performans ölçütlerini içerir. İşlem süresi, belirli bir sürecin tamamlanması için gereken gerçek zamanı ifade ederken, teslim süresi tüm sürecin tamamlanması için geçen toplam süreyi (bekleme süresi dahil) ifade eder. İlk seferde kalite ise bir işlemin hatasız tamamlanma yüzdesini temsil eder (Kim ve diğerleri, 2006).

DAH sürecinin üçüncü aşaması, gelecekteki durum haritasının oluşturulmasıdır. Bu aşamada, sistemdeki yetersizlikler giderildikten sonra sürecin nasıl görüneceği detaylandırılır. Gelecek durum haritası, verimliliği artırmaya yönelik sorunları ele almak ve yalın araçların uygulanmasına dair teknik çözümler geliştirmek için oluşturulur. Bu süreç, bir dizi kritik sorunun yanıtlanmasını gerektirir. Bu sorular arasında takt zamanı belirleme, üretimin doğrudan teslim edilip edilmeyeceği ya da bir süpermarket tampon alanına ihtiyaç olup olmadığı, sürekli akışın nerelerde kullanılabileceği ve değer akışı içinde bir süpermarket çekme sisteminin gerekliliği gibi unsurlar yer alır. Ayrıca, üretim zincirindeki hangi noktanın üretim çizelgeleme için kullanılacağı, süreçte üretim hızının nasıl seviyelendirileceği ve bu süreçten hangi iş miktarının çekileceği gibi sorular da değerlendirilir. Son olarak, süreç iyileştirmelerine yönelik planlamalar yapılır. Bu soruların bir kısmı temel üretim yönetimiyle ilgiliyken, diğerleri otonom sistemlerin ve sürekli iyileştirme çalışmalarının (kaizen) uygulanmasıyla ilgilidir.

Mevcut ve gelecekteki durum haritaları arasında sürekli bir döngü bulunur. Bu döngü, süreçlerin ideal bir akışa ulaşmasını sağlamak için uygulama ve test yöntemlerine dayanır.

Yalın üretim uygulamalarının temelinde, bu döngünün sürekli olarak tekrarlanması ve her adımda süreçlerin optimize edilmesi yatmaktadır. Sürekli iyileştirme, yalın üretimin değişmez bir parçası olarak süreçlerin etkinliğini artırmayı hedefler. DAH, bu bağlamda yalnızca mevcut durumu analiz etmekle kalmaz, aynı zamanda sistemin gelecekteki potansiyel durumunu da tasarlayarak stratejik kararların alınmasına olanak tanır.

Değer haritası çıkarmak için öncelikle resmedilecek ürün ailesi seçilir. Ürün aileleri birçok ortak aşamadan geçen ve ortak ekipmanları kullanılan ürün gruplarıdır. Yapılacak iyileştirme için küçük partili ve birçok ürün ailesine dahil parçalar tercih edilmez. Seçilecek ürün ailesinin müşteri gözünden de ne kadar talep edildiği belirtilir. Ürün ailesi seçildikten, gerekli bilgilerin toplanma aşamasına geçilir. Bunun için tecrübeli çalışanlardan yardım alınır. Gerekli bilgiler toplandıktan sonra ürünün mevcut durum haritası çıkarılır. Mevcut durum haritası seçilen ürünün ilk aşamadan son aşamasına kadar olan bilgi malzeme insan ilişkilerini gösterir. Çizim yapılırken uygun sembollerden yararlanır. Genellikle sondan başa doğru resmedilir. Harita yalnızca bir kişi tarafından çıkarılırsa verimli olabilir. Mevcut durumdan sonra yalın gelişimi sağlayan, değer katmayan faaliyetler çıkarılmış, amaçlanan gelecek durum haritası çizilir. Mevcut durum haritasındaki değer katmayan ve israf olarak nitelendirilen adımlar çizilen gelecek durum haritasına göre iyileştirilmeye çalışılır. Değer akış haritalamada farklı sembollerden yararlanılabilmektedir. Bu semboller Görsel 1’de gösterilmiştir. Buna göre operasyonlardaki çekme, itme, taşıma, depolama, bilgi akışı, malzeme akışı, depolama gibi faaliyetler ve akışlar mevcut ve gelecek durum haritalarında bu semboller yardımıyla gösterilebilmektedir.



Görsel 1. Değer akış haritalamada kullanılan bazı temel semboller

Değer Akış Haritalama var olan bir sistem ya da süreç içindeki israfları tanımlamak, süreçleri-operasyonları optimize etmek ve nihai ürüne daha verimli bir şekilde ulaşmak için bir yol haritası sunar. Sürekli iyileştirme yaklaşımıyla DAH, üretim sistemlerinin daha etkin ve verimli hale gelmesine katkıda bulunur. Bu yöntem, yalın üretimin temel prensiplerini somut bir şekilde uygulayarak, işletmelerin hem maliyetleri düşürmesine hem de müşteri memnuniyetini artırmasına olanak tanır.

4. KİMYA SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

4.1. Uygulama Yapılan Firma ve İyileştirilme Alanları

Çalışma gerçekleştirilen firma 120 ülkede faaliyet gösteren ve dünya genelinde 50.000'den fazla çalışanı olan uluslararası işbirlikleri ve faaliyetleri olan bir kimya firmasıdır. Firmanın farklı üretim süreçleri söz konusudur. Uygulama gerçekleştirilen firmada yapıştırıcı imal edilmektedir. Bu ürün sanayi tipi yapıştırıcı olup, otomotiv ve metal işleme, ambalajlama ve tüketim ürünleri, elektronik ve endüstriyel ürünler gibi alanlarında kullanılmaktadır. Uygulama gerçekleştirilen fabrika yeni kurulan bir üretim tesisi olduğundan üretim hattında iyileştirmelere ihtiyaç olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle gelişime en açık olan üretim hattı seçilmiştir. Bu süreçte veri toplamak için gözlemler gerçekleştirilmiş ve çalışanlara sorular sorulmuştur. Yapılan çalışmada seçilen ürün ailesine ait üretim süreci incelenerek bir parti ürüne ait üretimdeki süreler ve diğer veriler tek partiye göre hesaplanmıştır.

Bu süreç sonucu oluşan ürünler tek kullanımlık hijyen ve nonwoven endüstrisine yönelik ürünler olup, çocuk bezleri gibi kullanım alanlarına sahiptir. Cilt dostu ve güçlü yapışma gösteren ürünlerdir. Seçilen üretim sürecinde 25 farklı ürün oluşmaktadır. Ürün reçetesindeki malzemelere ve miktarlara göre ürünler farklılaşmaktadır. Ele alınan ürün için parti büyüklüğü 3696'dır. Üretim sürecinin başından sonuna kadar olan her aşamada kaç işçi çalışacağı sabittir ve üretime başlamadan önce belirlenmektedir. Fabrikada günde 8 saat olmak üzere 3 vardiya bulunmaktadır. 1 vardiyada 1 saat yemek molası çıkarıldığında 7 saat uygun çalışma zamanı vardır. Bu da toplamda 420 dakikaya eşittir. Üç vardiya için toplam çalışma süresi ise 1260 dakika olarak alınmıştır. Aylık toplam süre ise 37800 dakika olarak hesaplanmıştır.

Takt zamanı ürünün müşteri talebinin dayattığı zamandır. Yani ürünün üretilme süresi müşterinin istediği süreye göre ayarlanır. Takt zamanı stok tutulmadan kapasitenin en verimli şekilde kullanılmasının sağlar. Takt zamanını hesaplayabilmek için uygun zamanın yanında talep de bilinmelidir. Üretim ve üretim planlama departmanlarından elde edilen bilgilere göre ilgili ürün için aylık talep 996,5 ton olarak belirlenmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında takt zamanı şu şekilde hesaplanmıştır;

$$\text{Takt zamanı} = (\text{Çalışma süresi}) / (\text{Ortalama talep})$$

$$\text{Aylık çalışma süresi: } 37.800 \text{ dakika}$$

$$\text{Yıllık Talep: } 996,5 \text{ ton}$$

$$\text{Aylık Ortalama Talep: } 83,0416 \text{ ton}$$

$$\text{Takta Zamanı} = (37.800) / 83,0416 = 455.193 \text{ dk.}$$

Çevrim süresi iki bitmiş ürün arasındaki süreyi ifade eder. Çevrim süresi de takt zamanı da "ürünler arası zamanı" ölçer, ancak takt zamanı hattan çıkması gereken ürünler arası zamanı, çevrim süresi ise mevcut gerçekte ölçülen hattan çıkan ürünler arası zamanı ölçer. Takt zamanının çevrim süresinden daha fazla olması beklenmektedir. Çevrim süresinin olabildiğince düşük olması hatta değer yaratmayan faaliyetler için 0 olması istenir. Bu üretim sürecinde bir parti için çevrim süresi 446 dk'dır.

Hatalı ürün oranı da önemli bir performans ölçütüdür. Hatalı ürün sayısının fazla oluşu maliyeti arttırır ve aynı ürünün tekrar üretilmesini gerekli kıldığı için zaman kaybına neden olur. Eğer müşteriyle anlaşılan zamana mutabık kalınmazsa müşteriyle olan ilişkileri de olumsuz etkileyebilir. Hata oranı kalite ekibi tarafından belirlenir ve üretimin bu hatalı ürün oranı altında tutulması beklenir.

Verim oranı birim zamandaki üretilen birim ürün miktarıdır. Ele alınan süreçte 3696 birim ürün elde edilmektedir. Çevrim zamanı da 446 dk olduğundan dakikada elde edilen ürün sayısı; $3696 / 446 = 8,28$ adet olarak hesaplanmıştır. Bu dakikada yaklaşık olarak 8 birim ürün üretildiğini ifade etmektedir.

Genel ekipman etkinliği (OEE) üretim sürecindeki önemli ölçütlerden biridir. OEE hesaplamak için aylık üretilen ürün adedine ihtiyaç vardır. Bu işletmede üretilen ürün miktarı müşteri taleplerine göre belirlenir. Müşteri talebi aylık 996,5 ton olduğundan üretilen miktarın da bu sayıya eşit olduğu söylenebilir.

$$\text{Genel ekipman etkinliği} = (\text{Üretilen adet} \times \text{çevrim süresi}) / (\text{Uygun zaman})$$
$$= (996,5 \times 446) / 37800 = 11,75$$

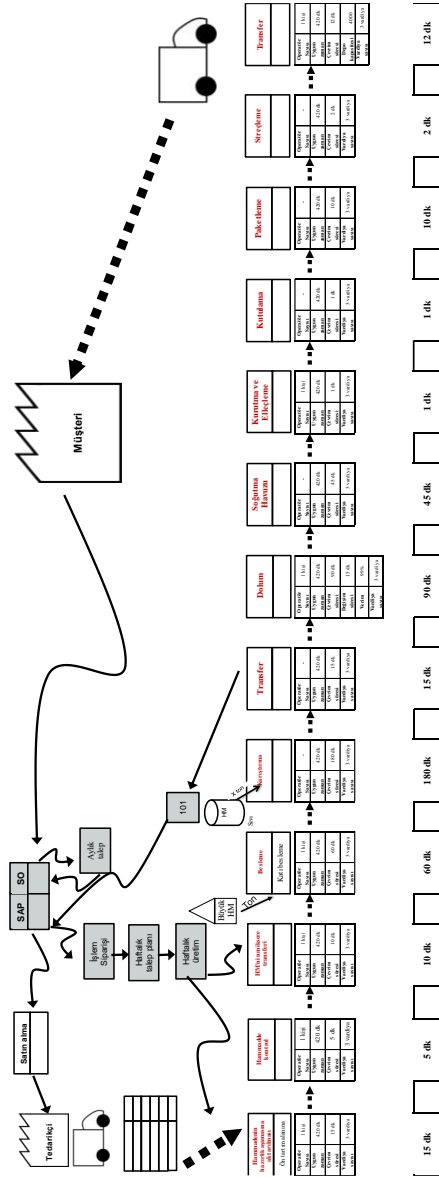
Elde edilen veriler ve kısıtlar çerçevesinde yalın araçlar kullanılarak sistemin iyileştirilmesi ve bu iyileştirmelerin devamlılığı sağlanacak şekilde olması hedeflenmektedir. Yapılan araştırmanın asıl amacı üretim sürecini analiz ederek, yalın araçlar kullanarak iyileştirme yapmaktır. Bu iyileştirmeler için sistemdeki problemlerin analiz edilmesi gerekmektedir. İyileştirmeler sistemdeki değer katmayan aşamalar üzerinde yapılacaktır. Bu yüzden süreçteki değer katan ve değer katmayan aşamalar belirlenmiştir. Çizelge 1' değer kayan ve katmayan işlemler gösterilmektedir.

Çizelge 1. Değer katmayan işlemler

Süreç İsmi	Değer Katma Durumu	Çevrim Süresi
Hammaddenin hazırlık aşamasına aktarılması	Değer katmayan	15 dk
Hammaddenin kontrolü	Değer katmayan	5 dk
Hammaddenin miksera aktarılması	Değer katmayan	10 dk
Besleme	Değer katan	60 dk
Karıştırma	Değer katan	180 dk
Transfer	Değer katmayan	15 dk
Dolum	Değer katmayan	90 dk
Soğutma Havuzu	Değer katmayan	45 dk
Kurutma ve Elleçleme	Değer katmayan	1 dk
Kutulama	Değer katmayan	1 dk
Paketleme	Değer katmayan	10 dk
Streçleme	Değer katmayan	2 dk
Transfer	Değer katmayan	12 dk
TOPLAM		446 dk

Aşamaların sürelerinin yüzdesel olarak değerlendirilmesi sonucu değer katan aşamaların sürecin %54'ünü değer katmayan aşamaların ise %46'sını oluşturduğu görülmektedir. Neredeyse birbirine eşit olması sistemin geliştirilmeye açık olduğunu göstermektedir.

Yapılacak iyileştirmeler değer katmayan faaliyetlerin yüzdesini düşürmek için olacaktır. Görsel 2’de sürece ait mevcut durum haritası paylaşılmıştır.



Görsel 2. Mevcut Durum Haritası

Mevcut durumla ilgili tespitler ise şunlardır;

- Üretim Planının Oluşturulması: Süreç haftalık talep ve üretim çizelgesine göre plan oluşturulmasıyla başlamaktadır. Fabrikadaki planlama departmanı kapasite verilerini ana merkezden almaktadır. Ay cinsinden çalışılan günler hesaplanır ve hammadde ve kapasiteler kontrol edilir. Kapasite öncelikle 3 aylık bölümlere sonrasında ise aylık ve haftalık bölümlere ayrılır. Öncelikli veya acil bir üretim olup olmadığı kontrol edilir. Bu verilere göre uygun bir plan oluşturularak gerekli olan hammadde ve malzeme ihtiyacını belirlenir. Bu ihtiyaca göre satın alma departmanı gerekli hammadde ve malzemenin alımını gerçekleştirir. Ulaşan ürünlerin kontrolü yapılır. Gelen hammadde toz şeklindeyse hammaddelerin parçacık boyutu, ambalaj büyüklüğü, hammaddenin kalitesi gibi unsurlar dikkate alınmalıdır. Gelen hammaddelerin üretimine başlanmadan uygun kontrollerden geçerek depoya yerleştirilir. Bu yerleştirme özel olarak yapılmaktadır. Depoda her hammadde ve malzeme için ayrılmış özel bölümler vardır. Bu bölümler üretilen ürün bazında sınıflandırılmıştır. Hammadde ve malzemeler fabrikaya ulaştığında lojistik departmanları ürünlerin girişini yapar ve depolama sistemi gelen hammadde ve malzemeler için otomatik olarak uygun bir yer atar. Böylelikle gereksiz taşımalar engellenmiş olur. Buradaki önemli faktörlerden biri hava koşullarıdır. Fabrika ortamının sıcaklığı, hava kalitesi, ortamdaki nem miktarının belirlenen seviyelerde olması gerekir. Bu faktörlerin uygun olmaması gelen hammaddenin bozulmasına sebep olabilir. Bu da tüm üretim sürecini olumsuz etkiler ve maliyet artışlarına sebep olur. Hammadde ve malzemeler depoya geldikten sonra planlama bölümü üretilen ürün için üretim fişi keserler ve üretimin başlaması için onay verirler. Kesilen fiş lojistik bölümüne gönderilerek gerekli hammadde ve

malzemeler hazırlanır. Bu üretim fişleri lojistik bölümünden üretim bölümüne aktararak üretimin başlanması sağlanır. Bu fiş kesme ve iletme aşaması manuel olarak kâğıt kullanılarak yürütülmektedir.

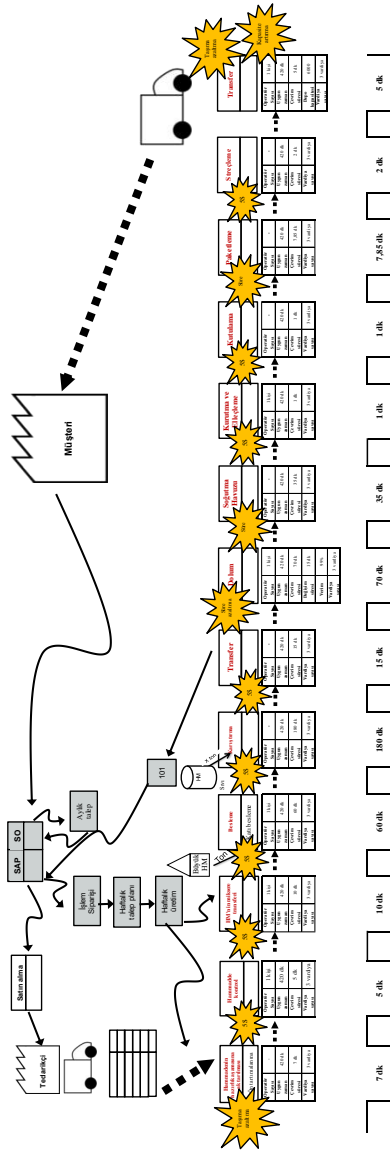
- **Hammaddenin Hazırlık Aşamasına Aktarılması:** Üretimin ilk aşaması hammaddenin hazırlık aşamasına aktarılmasıdır. Depodaki hammadde ve malzemeler ihtiyaca göre depodan ilk giren ilk çıkar (FIFO) mantığıyla ön tartım alanına transpalet yardımıyla getirilir. Bir parti için gerekli malzemelerin hammadde depodan aynı kattaki depolama alanına taşınması 15 dakika sürmektedir. Taşımanın eksiksiz gerçekleşmesi için bu işlemi yapan çalışanlarda BOM ve üretim planına göre malzeme listesi olması gerekmektedir. Malzemelerin yüksek raflardan indirilebilmesi için asansör çalışır durumda olmalıdır. Transpaletlerin şarjlı ve bir aksilik durumuna karşı hızlı şarj için Lityum demir pil bulunmalıdır.
- **Hammadde Kontrol:** Gelen hammaddeyle ilgili partinin ürün ağacı ve sistemdeki üretim planıyla doğru eşleştiğini kontrol etmek gerekmektedir. Kontrol için malzeme üzerindeki kod barkod okuyucu yardımıyla okunur. Bu kontrol işlemi barkod okuyucuyla yapılır ve yaklaşık 5 dakika sürer. Gelen hammaddelerin kontrolü için önemli nokta barkod okuyucunun çalışır şekilde olmasıdır. Bunun için süreç başlamadan kontrol edilip çalışır olduğundan emin olmak gerekir.
- **Hammaddenin Miksere Transferi:** Kontrol aşamasını eksiksiz şekilde tamamlayan hammaddeler miksere taşınır. Malzemenin hazırlama alanından kanbanın dağıtım düzenine göre asansör aracılığıyla şarj istasyonlarına aktarılması için geçen süre 10 dakikadır. Miksere taşınan hammaddeler bu aşamadan sonra yerçekimi kullanarak hareket ederler. Bu sayede ekstra bir enerji kullanılmadan akışın kesintisiz olarak ilerlemesini sağlar. Bu da taşıma maliyetlerini ortadan kaldırır. Hammaddelerin miksere transferi için asansörün ve barkod okuyucunun çalışır durumda olması, transpaletin yeterli şarjının olması ve lityum demir pillerin bulunması kritik koşullardır. Makinenin tam verimde çalışması ve yapılacak sapmanın tolerans aralığında olması istenmektedir. Makinelerin tam verimde çalışmaması ya da yanlış üretim yapması sonucu hatalı ürün oluşabilir. Oluşan hatalı ürünler de hem maliyeti hem de ürünlerin üretilmesi için gereken süreyi arttırmaktadır.
- **Besleme:** Miksere transfer olan hammaddeler besleme aşamasına geçer. Yapılan besleme katı beslemedir. Hammaddeler, DCS'den akan reçetelere göre belirlenir. Operatör reçetede belirtilen hammaddeyi gerekli miktarda besledikten ve sistem gerekli ön koşulları sağladıktan sonra bu hammaddelerin mikserin içine bırakılmasına izin verilir. Beslenen hammaddeler vakum altında karıştırılır. Reçetelerde istenen vakum, karıştırma ve bekleme süreleri tamamlanınca mikserden numune alınır. Serbest akış ile operatör tarafından kontrolü yapılır. Uygunsa üretime devam edilir. Uygun değilse karışım ve vakum tekrarlanır. Bu aşama 60 dakika sürmektedir. Besleme aşaması değer katan bir aşamadır. Besleme aşamasındaki parametreler vakum, petrol için kullanılan sıvı malzeme için tank çiftliği, çözünürlük, katı şarj olukları, seviye, akış, valf konumları ve sıcaklık gibi proses adımlarını ve durumu kontrol etmek için DCS sistemidir.
- **Karıştırma:** Katı beslemeden sonra karıştırma aşamasına geçilmektedir. Karıştırma aşaması 180 dakika sürmekte olup, süreçteki darboğazı oluşturmaktadır. Karıştırma aşaması sürece değer katan bir aşamadır. Buradaki önemli koşullar DCS'deki

karıştırma süresi, sıcaklık ayarı, vakum, petrol için kullanılan sıvı malzeme için tank çiftliği, çözünürlük, katı şarj olukları, seviye, akış, valf konumları ve sıcaklık gibi proses adımlarını ve durumu kontrol etmek için DCS sistemidir.

- Transfer: Karıştırmadan sonra yarı ürünler transfer edilir. Yarı ürünün tutma tankına transferi 15 dakika sürmektedir. Transfer aşamasına geçen ürünler için kritik koşullar zaman ve basınçtır.
- Dolum: Transfer aşamasından sonra ürünler dolum aşamasına geçerler. Burada bitmiş ürünlerin ambalaja dolumu gerçekleşir. Bu aşamada ürünlerin 1,5 kg'lık çaplara dolumu gerçekleşir. 1 koli içinde 11 çap bulunmaktadır ve 1 parti için 2464 adet çapın dolumu gerçekleştirilir. Dolumu yapılan ilk ürünlere kontrol yapılır. Şeklinden ve miktarından emin olduktan sonra bir adet numune alınır tartımı yapılır ve bu tartım işlemi belirli aralıklarla tekrarlanır. Bu aşama bir parti için 90 dakika sürmektedir. Dolum aşaması sürece değer katmayan bir aşamadır. Dolum aşamasında hava balonu ve ağırlık kritik koşullardır. Ayrıca kusurlu ürün sayısı da bu aşamayı etkilemektedir.
- Soğutma Havuzu Ambalaja dolan ürünler otomatik olarak bant yardımı ile soğutma havuzuna geçerler. Ürünlerin dolum sıcaklıkları 100°C – 140°C arasında değişiklik göstermektedir. Soğutma havuzundaki Su sıcaklığı ise 10-15 derece arasında olmalıdır. Ayrıca su seviyesinin çapların yüzebileceği şekilde olması gerekmektedir. Havuz suyunda bakteri üremesini engellemek amacıyla bir kimyasal eklenir. Havuz suyundan belirli aralıklarla numune alınır ve kalite testine gönderilir. Yapılan testte istenmeyen durumlar gözlenirse havuz suyu tahliye edilir ve yeniden doldurulması sağlanır. Buradaki soğutma işlemi 1 parti için 45 dakika sürmektedir. Soğutma havuzundaki sıcaklığın çok yüksek veya çok düşük olması ürünlerin burada geçirdikleri süreyi arttırabilir.
- Kurutma: Soğutma havuzundan sonra ürünler kurutma aşamasına geçerler. Kurutma işlemi 1 dakika sürmektedir. Kurutma aşamasındaki kritik koşul nem düzeyidir.
- Kutulama: Kurulama aşaması bittikten sonra ürünler kutulama aşamasına geçer. Buradaki kutulama işlemi robotik bir sistemle yapılır. Bu işlem de 1 dakika sürmektedir. Buradaki kritik koşul ise kutu makinesinin çalışır durumda olmasıdır. Bir kutuda ortalama 11 adet çap bulunmaktadır ve 1 partide 224 adet koli oluşmaktadır. Ortamdaki nem miktarının çok olması kutulama aşamasındaki kolilerin kalitesini düşürebilir.
- Paketleme: Kutulanan ürünler robotik kol yardımıyla paketlenir. Bu aşama 10 dakika sürmektedir. Oluşan ürünün ambalaj tasarımı ve ambalaj boyutu da bu süreçte dikkate alınmalı, ambalaj özelliklerine göre etiket seçimi yapılmalıdır.
- Streçleme: Paketlenmiş ürünle paletle yerleştirilir ve paletin çevresi streçlenir. Bu aşama 2 dakika sürer. Bir partiden yaklaşık 7 palet ürün çıkmaktadır.
- Transfer: Tüm aşamaları tamamlayan ürünler artık müşteriye göndermek üzere manuel olarak depoya transfer edilir. Bu işlem de 12 dakika sürer.

Görsel 3'de gösterilen gelecek durum haritası ile birden fazla soruna çözüm getirilmesi amaçlanmıştır. Ancak bütçe ve zaman kısıtları yüzünden tüm sorunları çözmek mümkün olamamaktadır. Tanımlı bütçe ve süre kısıtları dikkate alınarak tüm olası iyileştirmeler yerine belirli-öncelikli alanlarda iyileştirmeler yapılması uygun görülmüştür. Bu nedenle

çalışmada en öncelikli alanlarda kapasite artırımı ve belirli süreçlerde çevrim süresinin azaltılması konularına odaklanılarak bu konularda iyileştirme faaliyetleri gerçekleştirilmiştir.



Görsel 3. Gelecek Durum Haritası

Mevcut durum haritası incelendiğinde ilk olarak dört farklı alanda iyileştirmeler yapılmasına karar verilmiştir. Bu kapsamda lojistik depo kapasiteye yönelik iyileştirme, transfer aşamasında transfer süresinin minimize edilmesine yönelik bir iyileştirme, çap değişikliği ile çevrim süresinin azaltılması ve son olarak yerleşimde karmaşıklığı azaltmaya yönelik 5S uygulaması ile gereksiz malzemelerin ayıklanması, yolların daha kullanılabilir hale getirilmesi ve işgücü verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır.

4.2. Lojistik Depo İyileştirmesi

İncelenen üretim sürecinde tamamlanan ürünler müşteriye teslim edilmeden önce lojistik depoda stoklanır. Bu stoklanma işleminde ürünler paletler üzerindedir. Lojistik depo 6000 palet alabilecek kapasitededir. Ancak bu 6000'lik kapasitenin yalnızca 4000'i verimli şekilde kullanılabilir. Yani 2000 paletlik alan kullanım dışıdır. Bu sorunun sebebi ise palet ölçülerinin standart palet ölçülerinde tedarik edilememesidir. Buradaki kapasite yetersizliği sebebiyle fabrika deposu dışında harici depo kullanılmaktadır. 2 yıldır devam eden sorun, kullanılmayan alan nedeniyle optimal fayda ve depolama kaybına neden olmaktadır. Standart palet ölçüleri genellikle 80x120x110, 100x120x130 (genişlik, uzunluk, yükseklik) ölçülerinde üretilmektedir. Depo hareketleri ve maliyetler ile ilgili olarak mevcut tespit edilen bilgiler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Depo Hareketleri ve Maliyetler

Depo Hareket/Maliyet Bilgisi	Değer
------------------------------	-------

Depo maliyeti	1,90 TL Ton/m ³ (gün)
Harici depo maliyeti	2,3 TL Ton/m ³ (gün)
Nakliye maliyeti	750 TL
Alış / Çıkış Maliyeti	11 TL
Aylık giriş yapan palet sayısı	1497 palet
Aylık çıkış yapan palet sayısı	1738 palet
Stoktaki toplam ağırlık	3.316.689 ton
Aylık gönderi sayısı	1750 palet
Depolanan palet sayısı (ana depo)	3984 palet
Depolanan palet sayısı (harici depo)	6000 – 3984= 2016 palet

Kapasite sorununu çözmek için tüm değişkenlerin dikkate alınması gerekmektedir. Fabrika içindeki deponun maliyeti 1,9TL iken harici olarak kullanılan deponun maliyeti 3 TL'dir. Bu maliyetler günlük olarak metre küp başına düşen maliyetlerdir. Depolar arası nakliye maliyeti de 750 TL'dir. Ana depoya giren ya da ana depodan çıkan paletler için palet başına 11 TL maliyet bulunmaktadır. Ana depoya aylık 1497 palet giriş yaparken 1738 palet çıkış yapmaktadır. Aylık depolar arası transfer 1750 palettir. Ana depoda kapasite probleminden ötürü 3984 palet depolanmaktadır geri kalan 2016 paletin depolanması ise harici depoda yapılmaktadır.

Ana depo kapasitesi tam olarak kullanılmadığı için ürünler harici depoda depolanmaktadır. Ürünlerin kullanılma zamanı geldiğinde harici depodaki ürünler ana depoya aktarılır ve bu sevkiyat ekstra taşımaya bu da ekstra maliyetlere neden olmaktadır. Ana depodaki kapasite tam olarak kullanılmış olsaydı, ürünler üçüncü yol kullanılmadan doğrudan ana depoda depolanabilirdi. Kapasitenin verimsiz kullanılmasının nedenlerini anlamak için kök neden analizi çalışması yapılmıştır. Analizin sonuçlarına bakıldığında uygulanması en olası çözümün tedarikçilerde anlaşma sağlanması olduğu görülmektedir. Tedarikçilerle sözleşme yapılırken satın alma departmanının standart palet ölçülerinin temini konusunda sözleşme yapması gerekmektedir. Depo kurulumlarında ileriye dönük analiz, kapasite açısından daha sağlıklı bir durumdur. Gerekli analizler ve sözleşmeler yapıldığında depo kapasitesinin verimliliği son derece artacaktır.

İyileştirme sonrası harici depo kullanımı kaldırılmış, ana depo tam kapasite şekilde kullanılmaya başlanmıştır. İyileştirme öncesindeki ve sonrasındaki maliyetler Çizelge 3'de paylaşılmıştır.

Çizelge 3. Depo İyileştirme Sonucunda Maliyet Karşılaştırması

Maliyetler	İyileştirme Öncesi	İyileştirme Sonrası
Ana depoya aylık giriş ve depodan çıkış yapan palet maliyeti	35.585 TL	35.585 TL
Aylık ana depo içi transfer maliyeti	54.750 TL	54.750 TL
Aylık ana depo depolama maliyeti	227.088 TL	342.000 TL
Harici depodan ana depoya taşıma maliyeti	63.000 TL	-
Harici depoya aylık giriş ve depodan çıkış yapan palet maliyeti	44.352 TL	-
Aylık harici depo depolama (elde tutma) maliyeti	181.440 TL	-

4.3. Transfer Aşamasının Otomatik Hale Getirilmesi

Gelen hammaddelerin hazırlık aşamasına aktarılması ve üretimi tamamlanan ürünlerin üretim bandından alınarak müşteriye teslim edilmek üzere depoya taşınması manuel olarak gerçekleşmektedir. Hammaddelerin üretim alanına taşınması üretim çalışanlarından biri tarafından yapılır. Hammaddeler paletlere yerleştirilerek üretim alanına getirilirler. Lojistik depo çalışanları bitmiş ürünleri elleçleyerek palet üzerine yerleştirir. Palet büyüklüğüne göre de transpalet veya forklift yardımıyla taşınır. Buradaki işin manuel yapılması işlerin süresini uzatmaktadır ve ekstra çalışan ihtiyacı oluşturmaktadır. Bu sebeplerden dolayı bu adımların otomatikleştirilmesi için yeni bir proje oluşturulmuştur. Proje kapsamında otonom makinelerin satın alınmasına karar verilmiştir. Otonom makinelerin faydaları arasında;

- Otonom makineler sayesinde ihtiyaç duyulan işgücü azalır. Bu da işgücü için harcanan maliyetleri ortadan kaldırır.
- Otonom makineler normal makinelere oranla daha az enerji tükettiklerinden enerji maliyetleri azalır ayrıca çevre için daha az zararlıdır.
- İnsanlar kaynaklı hatalar ortadan kaldırılır. Otonom makineler gerekli işi yapmak için programlandıklarından hatalar minimize edilmiş olur. Ayrıca çalışanların maruz kalabileceği tehlikeli durumlar önlenmiş olur. Bu da daha güvenli çalışma ortamı olmasını sağlar.
- Otonom makineler normal makinelere göre daha uzun ömürlüdür ve daha az arıza çıkarır. Otonom makine kullanımı da bakım onarım için harcanan maliyetleri azaltır.
- Otonom makinelerde yapay zekâ ve veri analitiği kullanıldığından fabrikaların daha akıllı olmasını sağlar.
- Otonom makine kullanımına geçilmesinin en önemli faydası ise üretim sürecindeki hızı arttırmasıdır. İnsan gücüne göre çok daha hızlı ve verimli çalışırlar. Bu da ürünlerin müşteriye ulaşma hızını arttırır.

Sonuç olarak, otonom makinelerin üretim sürecinde bulunmasının birçok faydası vardır. Üretim sürecindeki işgücü, enerji ve bakım onarım gibi maliyetlerin azalmasını sağlar. Süreç otomatik hale gelerek oluşabilecek iş kazalarını veya hatalı ürün oluşumunu engeller. Herhangi bir çalışandan daha hızlı çalıştığı için de çevrim süresinin azalmasını sağlar. Bu sağladığı faydalardan ötürü de transfer aşamasında otonom makineler kullanılacaktır. Satın alınacak otonom forkliftler, otomatik kılavuzlu araçlar (AGV) kategorisinde bulunurlar. Bu araçlar fabrika veya depolarda bulunurlar, yapacakları işler için önceden programlanırlar ve buldukları alanda belirlenmiş yoları takip ederek bir dizi sensör ve navigasyon teknolojisi kullanarak malzemeleri otomatik olarak taşırlar. Bunun sonucunda malzemeler insansız ve hızlı bir şekilde taşınmış olur. AGV forkliftler iş gücü maliyetlerini ve iş gücünden kaynaklanan hata maliyetlerini azaltırlar, bu araçlar sayesinde insan gücü kullanılmamış olur ve insanların yapabileceği hatalar önlenir. Daha az enerji tüketerek daha az CO2 emisyonu sağlar. Agv forkliftler, normal forkliftlere kıyasla daha az yer ve kaynak gerektirirler. Bu da lojistik operasyonlarının daha verimli ve daha az maliyetli olmasını sağlar. Ayrıca daha hızlı oldukları için ve doğru konumlandırıldıklarında lojistik depo süreçleri daha verimli olur.

AGV forkliftlerin teknik özellikleri arasında lazer tarayıcılar, kameralar, ultrasonik sensörler, radarlar ve çeşitli diğer sensörler bulunur. Bu sensörler sayesinde forkliftlerin doğru programlandırılması ve lojistik faaliyetlerin eksiksiz şekilde yapılması sağlanır. Teknik özellikleri sayesinde forkliftler etrafındakileri algılayabilir ve buna göre hareket ederler. Bu da yapılan hareketlerin güvenli olmasını sağlar. AGV forkliftlerin yönetimi bir kontrol sistemi programı tarafından sağlanmaktadır. Bu sistemde forkliftlerin bulunduğu konumlar ve yapacağı hareketler programlanır. AGV forkliftler, otomatik depolama sistemleri ile birleştirilerek depo yönetimi işlemlerinin otomatikleştirilmesine olanak sağlamış olur. Satın alınacak forklift malzemeleri yukarı yönlü kaldırmak için tasarlanmıştır. 3.500- 6.000 mm arası yukarı kaldırma özelliğine sahiptir. Ayrıca 1500 kg'a kadar ağırlık kaldırma kapasitelidir. Lazer navigasyonu sayesinde paletleri hassas olarak kullanır. Üretim süreçlerine daha kolay entegre olması adına ERP ile bağlantı kurabilir. Aküsünde lityum iyon piller kullanılmış bu da ömrünün daha uzun olmasını sağlamıştır. Ayrıca forklift programlanırken rotasında bir engel gördüğü takdirde duruşa geçer ve araç üzerinde acil kapatma butonu bulunur. Bu da çalışanlar için güvenli bir çalışma ortamı oluşturmaktadır. Lojistik faaliyetleri kolaylaştırmak, hızlandırmak ve daha verimli hale getirmek adına kullanıma geçmesi planlanmıştır.

Üretim sürecinin ilk ve son aşamasındaki transfer adımlarının otonom araçlarla sağlanması süre olarak ciddi bir azalma sağlamaktadır. Şu an ki durumda ilk adımda ürünlerin transferi için 1 kişi çalışmaktadır ve ortalama 15 dakikada transfer son adımda ise 1 kişi çalışmaktadır ve ortalama 15 dakikada transfer yapılmaktadır. İyileştirilmiş halinde ise alınan otonom araçlar sayesinde ilk adımın süresi 7 son adımın süresi 5 dakikaya düşürülmüştür. Ayrıca bu aşamalar için herhangi bir çalışanın bulunmasına gerek olmaması maliyeti ve olabilecek kazaları da azaltmaktadır.

Çap Arttırma

Bu üretim süreci için kullanılan “çap” kelimesi ürünlerin doldurulduğu ambalajı ifade etmektedir. Halihazırdaki üretim sürecinde ürünlerin dolumu 1,5 kg'lık çaplara yapılmaktadır. Her partide toplam ortalama 3696 kg ürün oluşur ve bu da 2464 adet çap oluşumu demektir. Bu proje kapsamındaki amaç dolum yapılan 1.5 kg'lık çapların boyutunu ve koli içindeki ağırlığını arttırarak çevrim süresini azaltmaktır. Çap arttırma projesi kapsamında yapılması gereken değişiklikler olarak şu faaliyetler planlanmıştır;

- Ürünün reçete değişimi
- Kutu mukavemeti
- Kutu üzerine basılacak etiketlerin değişimi
- SAP sistemindeki değişiklikler

Yalın mühendisi ve üretim mühendisleriyle yapılan çalışmalar sonucu ürün çaplarının 2,1 kg olması planlanmıştır. Bu değişim sonucu bu ürünün müşterileri ile iletişime geçilip onlardan da gerekli onaylar alınmıştır. Test aşamasında bir partideki 3696 kg'lık ürünün 2,1 kg'lık çaplara dolumu gerçekleşmiştir. Dolum sonunda 1760 adet çap oluşmaktadır. Dolumu

yapılan ürünlerin kontrolü sağlanmış ve herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır. Birkaç hasarlı çap rework olarak tekrar üretim sürecine katılmıştır. Çapın boyutu arttığından daha az çap oluşumu sağlanmış ve bu da süreyi kısmen azaltmıştır. Gözlem sonucu 1 partinin çaplara dolumu yaklaşık 70 dakikada gerçekleşmiştir.

Dolumu yapılan ürünler soğutma havuzuna geçmektedirler. Bu aşama iyileştirme öncesi 1,5 kg'lık 2464 çap 45 dakika sürmekteydi. İyileştirme sonrasında ise gözlem sonuçlarına göre 2,1 kg'lık 1760 çap için yaklaşık 35 dakika sürmektedir. Kutulama aşamasında ise, kolilerin tedarik edildiği tedarikçi ile anlaşarak kutuların taşıma kapasitesi %30 arttırılmıştır. Bu sayede 1 kolinin taşıma kapasitesi 21,45 kg'a çıkartılmıştır. Kutulama aşamasına gelen 1760 adet çapın kutulara yerleştirilmesi için;

1 çap ağırlığı: 2,1 kg

Kutunun taşıyabileceği maksimum ağırlık: 21,45

$21,45/2,1=10,19$ olarak bulunmuştur.

Çap sayısı kesirli olamayacağından bir kutuya en fazla 10 adet çap yerleştirilebilir. Bu da yaklaşık 176 kolinin oluşması demektir. Burada yerleştirme işini robotik sistemle yaptığından, bir koliye yerleştirilecek ürün sayısı değiştiği için yazılımları yeniden kodlanmalıdır. Bunun için robotların alındığı firmadan ekstra bir hizmet alınması gerekir. Yazılımların kodlanması sonrası süre yine sabit kalarak 1 dakika sürmektedir.

Kutulara yerleştirme işlemi tamamlandıktan sonra kolilerin paketlenme aşamasına geçilir. Ürünlerin paketlenmesi yine robotik kol yardımıyla yapılır. Buradaki yazılımın da güncellenmesi gerekir. Buradaki paketleme işlemi de 7,85 dakika sürmektedir. Koli sayısı azaldığı için süresi de azalmıştır.

Paketlenme aşaması sonrası ürünler palete yerleştirilerek çevresinin streçlenmesi sağlanır. Bir palet 32 adet koli yerleştirilmektedir. Bunun için 5,5 adet palet ihtiyacı bulunmaktadır. Yani 2 parti için 11 palet kullanılacaktır. Buradan artan paletler başka bir üretim sürecinde değerlendirilebilir. Bu 5,5 adet palet için bir paletin yerleştirilme süresi koli sayısı değişmediği için yine 2 dakikadır. Bu proje sonucunda değer katmayan aşamaların süreç içindeki yüzdesi 40'a düşmüş değer katan aşamalar ise 60'a yükselmiştir. Ayrıca sürecin toplam süresi 399 dakikaya indirilmiştir. Bu da bir parti ürün için yaklaşık 45 dakika zaman kazancı sağlamıştır.

Aşağıda Çizelge 4'de iyileştirmeyle ilgili olarak öncesi ve sonrası değerler paylaşılmıştır.

Çizelge 4. Çap İyileştirme Sonuçları

Parti-Çap ve Koli Bilgileri	İyileştirme Öncesi	İyileştirme Sonrası
Parti büyüklüğü	3696 kg	3696 kg
Çap boyutu	1,5 kg	2,1 kg
Partideki çap sayısı	2464	1760
Dolum süresi	90 dk	70 dk
Kolilerdeki çap sayısı	11	10
Koli ağırlık	16,5 kg	21 kg
Koli sayısı	224	176
Palet sayısı	7	5,5

4.4. Düzenleme ve Yerleşime Yönelik İyileştirmeler

Üretim sahasında bazı gereksiz aletler, malzemeler ve yedek parçalar karmaşaya neden olmaktadır. Bu kapsamda 5S çalışması gerçekleştirilerek gereksiz malzemelerin ortadan kaldırılması, hareket ve depolama sahalarının daha net tanımlanması ve etiketlemeler ile gereksiz hareketlerin azaltılması, taşıma sürelerinin minimize edilmesi ve işgücü verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda 5S uygulaması hayata geçirilmiştir.

5S iş yerlerinde temiz, organize ve verimli bir çalışma ortamı yaratmaya yarayan sistematik bir yaklaşımdır. 5S'e adını veren Japonca'daki Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke sözcüklerinin baş harfleridir. Bu kelimeler ise sırasıyla ayıklama, düzen, temizlik, standartlaştırma ve sürdürme anlamlarına gelmektedir. 5S kapsamında ilk olarak dağıntıklığı önlemek için gereksiz her şey ortadan kaldırılır. Gereksiz maddeler ortadan kaldırıldıktan sonra, gerekli öğelerin daha kolay kullanıma sahip olması açısından uygun yerler belirlenir ve buraya yerleştirilir. Çalışma alanının düzenli tutulması için temizlenir. Bu aşamalarla alakalı sürekliliği sağlamak amacıyla prosedür ve uygulamalar oluşturulur ve bu prosedürlere uygun olarak devamlılık sağlanır. Bu süreçte sürekli gözlemler sonucu iyileştirmeler sürekli olarak sürdürülür. Ele alınan çalışmada bir aşama için değil tüm süreç için 5S uygulanacaktır. Çalışma kapsamında fabrikanın üretim ortamında yapılan 5S çalışmaları;

- Seiri-Ayıklama: Yapılan ilk şey bölgede ihtiyaç duyulmayan her şeyi atmaktır. Gereksiz olan şeyler atıldıktan sonra çalışma alanındaki tüm araçlar gözden geçirilerek yalnızca temel olarak saklanmış ve geri kalan her şey ya saklanmış ya da atılmıştır. Bu ayıklama için öncelikli olarak gerekli ve gereksiz nesnelere için kriterler tanımlanmıştır. Tanımlama sonucundaki gereksiz öğelere kırmızı etiketler yerleştirilmiştir. Kırmızı etiketli öğeler toplanarak belirlenen kırmızı etiket alanına taşınmış sonrasında atılmıştır. Son olarak düzensizliğe neden olan nedenler belirlenmiş ve düzeltilmeye çalışılmıştır. Öğeleri sıralamak için kurallar şunlardır;
 - Her zaman kullanılır: Günlük ihtiyaç duyulan çalışanların elinin altında durması gereken ürünlerdir. Tüm öğeler iş istasyonlarında gerekli miktarda kalırlar. Her öğeye neden ihtiyaç duyulduğunun nedeni açık şekilde belirtilmelidir.
 - Bazen kullanılır: haftada birkaç kez kullanılan ürünlerdir. Yaygın olarak kullanılan bir yerde gerekli kadar depolanır ancak doğrudan iş istasyonunda saklanmazlar.
 - Nadir kullanılır: ayda birkaç kez kullanılan ürünlerdir. Merkezi bir yerde veya depoda saklanırlar.
 - Diğer kategori: atılacak veya kırmızı etiketli ürünlerdir. Karantina alanında bulunurlar.
- Seiton-Düzenleme: Tüm gereksiz öğeler kaldırıldıktan sonra her şeye bir yer tanımlanma aşamasına geçilmiştir. Tüm öğeler için gerekli miktar ve boyutta yer atılması yapılmıştır. Zemin işaretleme gibi görsel yönetim kurulmuştur. Çalışanların tüm kişisel eşyaları tanımlanmış yerlere yerleştirilmiştir. Yer tanımlama için kullanım sıklığına ve miktarına karşılık gelen konumlar atanmıştır.

- Seiso-Temizlik: her şey standart olarak tanımlanabilecek bir seviyede temizlenmiştir. Tüm temizlik malzemelerini depolamak için özel bir konum belirlenmiştir. Alanlarda derinlemesine temizlik yapılarak belirli temizlik hedefleri belirlenmiştir. Buna uygun temizlik programı belirlenerek kişilere atanmıştır. Devam eden günlük temizlik rutinleri için prosedürler oluşturulmuştur. Temizlik yaparken kusurları incelenmiş ve çözümler bulunmuş, daha sonra çözülmesi gerekenler için ilgili kusurları etiketlenmiştir.
- Seiketsu-Standartlaştırma: Fabrika görsel yönetimi ve 5S el kitabından tanımlanmış kurallara göre tüm konumlarda görsel standartlar uygulanmıştır. Tanımlanmış standartlar, açık ve doğru şekilde tanımlanmış ve herkes tarafından bilinmektedir. Standartlar, değişikliklerin doğal, standart ve tutarlı davranış haline gelmesini sağlayarak, sürdürülebilirlik ve gelecekteki iyileştirmeler için bir temel belirlerler. Alanlar için günlük 5S için net rutinler yazılarak orada çalışan kişi bu rutinleri yerine getirmeye çalışmaktadır. Standardizasyonu sağlamak için ise poka-yoke ve görsel kontroller uygulanmıştır.
- Shitsuke-Sürdürme: bu aşamada ilk olarak yapılan 4S'e odaklanılarak eski yollara geri dönüşe izin verilmeden kademeli olarak sürdürülebilirlik sağlanmıştır. 5S denetimleri gözden geçirilerek çalışanlara açıklamalar yapılmış ve çalışanlar 5S'i sürdürme konusunda yönlendirilmiştir. İlgili kişilerin kontrol listelerine gamba yürüyüşü eklenmiştir. Çalışanlardan geri bildirimler toplanarak standardı korumak ve iyileştirmek için çalışmalar yapılmıştır.

5S çalışmalarını sürdürme kapsamında her operasyonel pozisyon için günlük görevler belirlenir. 5S aktiviteleri makine çalışırken yapılır. Gemba yürüyüşleri sırasında süreç günlük olarak gözden geçirilmektedir. Buradaki temel unsur 5S'i fabrikadaki günlük çalışma kültürüne yerleştirmektir. Aylık olarak yalın takımı denetlemeler yapmaktadır. Fabrikadaki 5S stiline ve görsel standartlara uygun bir rehber oluşturularak tüm şablonlar ve standartlar belirlenmiştir.

Ayıklama aşaması sayesinde gereksiz nesnelere kaldırılmış, arama süresi yolları ve miktarları azalmış, yapılan temizleme faaliyeti gözle görülebilir hale gelmiş ve işgücü verimliliği artmıştır. Sistematik bir düzenleme yapıldığından bir şeyleri bulmak ve neyin eksik olduğunu belirlemek daha kolay hale gelmektedir. Öğeleri doğru yerde tutmak düzen ve alan yaratmaktadır. Etiketler, renkler ve ana hatlar görsel güçlendirme sağlamıştır. Gerekli şeyleri yakında tutmak hareketi en aza indirmiştir. İş istasyonları için yapılan düzenlemede eşyalar mümkün olduğunca yerden uzak tutulmaya çalışılmış, aletler kullanım noktasında ihtiyaç duydukları yere konulmuş, ortam mümkün olduğunca basitleştirilmiştir. Bu koşullar sağlanırken güvenlik ve ergonomi göz önünde bulundurulmuştur. İş yerinin temiz tutulması problemlerin (sızıntılar, titreşimler, arızalar, yanlış hizalama vb.) daha kolay tespit edilerek daha hızlı giderilmesini sağlamıştır. Standartlaştırma aşamasında amaç Resmi bir denetim sistemi sonuçları izleyerek ve kazanılan ivmeyi korumayı sağlamaktadır. Prosedürlere uygun olarak iş yeri ortamı temiz ve düzenli tutulmuştur. Tüm bu yapılan çalışmaların en önemli noktası devamlılığın sağlanmasıdır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, kimya sektöründe önde gelen bir firmanın üretim süreçlerinin yalın üretim anlayışı çerçevesinde iyileştirilmesi amacıyla değer akış haritalama (DAH) yöntemi kullanılmıştır. Yalın üretim prensipleri doğrultusunda, mevcut süreçler analiz edilmiş ve değer yaratmayan aşamaların azaltılmasına yönelik iyileştirme projeleri hayata geçirilmiştir. Bu bağlamda, lojistik depo iyileştirmeleri, otomasyon uygulamaları, çap büyüklüğünün artırılması ve 5S uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Her bir iyileştirme alanı, sürecin verimliliğini artırma, israfları azaltma ve işletmenin maliyet avantajını artırma amacıyla detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Lojistik depo iyileştirmesi kapsamında, standart olmayan palet ölçülerinden kaynaklanan kapasite kullanım sorunları tespit edilmiş ve standart palet ölçülerine geçiş yapılmıştır. Bu değişim sayesinde depo kapasitesi tam olarak kullanılabilir hale gelmiş ve harici depo kullanımına gerek kalmamıştır. Harici depo kullanımının ortadan kaldırılması, taşıma ve depolama maliyetlerinde önemli bir düşüş sağlamış, bu da işletme için yıllık anlamlı bir tasarruf yaratmıştır. İyileştirmeden önce kapasite yetersizliğinden ekstra depo ile birlikte toplam 606.215 TL bir maliyet söz konusu iken iyileştirme sonrası ekstra depo kullanımını ortadan kaldırarak maliyet 432.335 TL'ye düşürülmüştür. Bu da firma için aylık 173.880 TL'lik bir kazanç anlamına gelmektedir. Bu iyileştirme ile lojistik süreçlerdeki darboğazlar giderilmiş ve depo yönetimi daha etkin bir hale getirilmiştir.

Transfer süreçlerinin otomasyon yoluyla iyileştirilmesi, süreçlerin hızını artırmış ve çalışanların gereksiz fiziksel hareketlerini azaltmıştır. Otonom araçlar sayesinde hem üretim başlangıcı hem de bitiş aşamasındaki transfer süreleri kısaltılmış, iş gücünden kaynaklanan hatalar ve iş kazası riskleri minimize edilmiştir. Bu araçlar sayesinde taşıma sürelerinin minimize edilmesi sağlamıştır. 15 dakika olan ilk aşama 7 dakikaya, 15 dakika olan son aşama ise 5 dakikaya düşürülmüştür. Bu iyileştirme yalnızca süreç sürelerini azaltmakla kalmamış, aynı zamanda daha güvenli ve verimli bir çalışma ortamı oluşturmuştur. Otonom makinelerin uzun vadeli maliyet avantajı ve sürdürülebilir enerji kullanımı, işletmenin çevresel sorumluluklarına katkıda bulunmuştur.

Çap boyutlarının artırılması, üretim sürecindeki dolum, soğutma, kutulama ve paketleme gibi aşamalarda önemli zaman tasarrufları sağlamıştır. Çap büyüklüğünün artırılmasıyla, dolum işlemleri daha kısa sürede tamamlanmış, soğutma havuzunda geçirilen süre azalmış ve paketleme süreçleri daha verimli hale gelmiştir. İyileştirme öncesi 446 olan çevrim süresi 399 dakikaya indirilmiştir. Bu da %10.5'lik bir azalmaya denk gelmektedir. Yapılan bu değişiklikler değer yaratmayan aşamalarda yapılmıştır. Bu sayede değer yaratmayan faaliyetlerin süresi %6 azalarak 159 dakikaya inmiş, değer yaratan faaliyetler ise %6 artarak sürecin daha verimli hale gelmesini sağlamıştır. Ayrıca, yeni çap boyutlarıyla ürünlerin lojistik operasyonları da optimize edilmiş, taşıma ve depolama süreçlerinde ek faydalar da elde edilmiştir.

Çalışmada 5S prensipleri belirlenerek bu prensiplere uygun bir çalışma ortamı düzenlenmiştir. 5S uygulamaları, üretim ortamında düzeni sağlamış, gereksiz malzemelerin kaldırılması ve iş istasyonlarının optimize edilmesiyle verimlilik artışı sağlamıştır. Bu sistematik düzenleme sayesinde arama ve taşıma süreleri kısalmış, işgücü verimliliği

artırılmış ve çalışanlar için daha ergonomik bir çalışma ortamı oluşturulmuştur. 5S uygulamalarının devamlılığı için standart prosedürler ve düzenli denetim mekanizmaları devreye alınmış, bu da süreçlerin sürekli iyileştirilmesine zemin hazırlamıştır. Çalışanlar 5S prensipleri hakkında bilgilendirilmiş konuyla alakalı panolar oluşturulmuş, bu sayede sürekli farkındalık sağlanmıştır. Bu uygulamalar sayesinde sürecin daha temiz ve düzenli olması çalışanlar için daha ergonomik ve güvenli bir ortam oluşturulması sağlanmıştır.

Yapılan tüm iyileştirmeler sonucunda, değer yaratmayan süreçlerin sürecin toplamındaki oranı %46'dan %40'a düşmüş, değer katan süreçlerin oranı ise %54'ten %60'a yükselmiştir. Ayrıca, süreç toplam süresi 446 dakikadan 399 dakikaya indirilerek bir parti üretimi için yaklaşık 45 dakikalık bir zaman tasarrufu sağlanmıştır. Bu, müşteri taleplerine daha hızlı yanıt verilmesini mümkün kılmış ve üretim kapasitesinin artırılmasına katkıda bulunmuştur.

Gerçek hayat uygulamasına yönelik olan bu çalışma, yalın üretim anlayışının kimya sektöründe nasıl etkili bir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir. Değer akış haritalama yöntemi, israfları tanımlamak ve iyileştirme fırsatlarını belirlemek için etkili bir araç olarak öne çıkmıştır. Bu yöntem, hem mevcut durum analizinde hem de gelecekteki durumun planlanmasında işletmelere rehberlik edebilecek kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır. Uygulanan iyileştirme çalışmaları, süreçlerin etkinliğini artırmakla kalmamış, aynı zamanda işletmenin sürdürülebilirlik hedeflerine de önemli katkılar sağlamıştır. Bu çalışmanın bulguları, yalnızca ele alınan firma için değil, aynı zamanda benzer üretim süreçlerine sahip diğer işletmeler için de yol gösterici niteliktedir. Yalın üretim prensiplerinin etkin bir şekilde uygulanması, işletmelerin rekabet gücünü artırmak, maliyetleri düşürmek ve müşteri memnuniyetini sağlamak için kritik bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, yalın üretim uygulamalarının işletmelerde çalışanlar arasında iş birliğini artırarak organizasyonel kültüre de olumlu etkiler sağladığı görülmüştür.

Sonraki çalışmalar, farklı sektörlerdeki üretim süreçlerinin yalın üretim anlayışıyla ele alınarak daha geniş bir perspektifte değerlendirilmesini sağlayabilir. Ayrıca, teknolojik gelişmelerin ışığında daha ileri düzey otomasyon uygulamalarının yalın üretim süreçlerine entegrasyonu üzerine yapılacak araştırmalar, işletmelerin dijital dönüşüm süreçlerine de katkıda bulunacaktır. Sonuç olarak, yalın üretim anlayışı ve değer akış haritalama yönteminin, günümüzün dinamik ve rekabetçi iş dünyasında işletmeler için bir rehber olmaya devam edeceği açıktır.

KAYNAKÇA

1. Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: a process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 223-236, 2007.
2. Bateman, R. Public Sector Human Resource Management Reform Across Countries: From Performance Appraisal To Performance Steering. *European Journal of International Management*, 3(4), 495-511, 2009.

3. Dickson, E. W., Singh, S., Cheung, D. S., Wyatt, C. C., & Nugent, A. S. Application of lean manufacturing techniques in the emergency department. *The Journal of Emergency Medicine*, 37(2), 177-182, 2009.
4. Freire, J., & Alarco'n, L. F. Achieving lean design process: improvement methodology. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(3), 248-256, 2002.
5. Havn, E. J. P., Womack, D. T., Jones, D. T., & Ross, D. *The Machine that Changed the World*. Rawson Associates, New York, 323 pp., 1990.
6. Kim, C. S., Spahlinger, D. A., Kin, J. M., & Billi, J. E. Lean health care: What can hospitals learn from a world-class automaker?. *Journal of Hospital Medicine*, 1(3), 191-199, 2006.
7. Lacerda, A. P., Xambre, A. R., & Alvelos, H. M. Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: a case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry. *International Journal of Production Research*, 54(6), 1708-1720, 2015. doi.org/10.1080/00207543.2015.1055349.
8. Melton, T. The Benefits of Lean Manufacturing. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6), 662–673, 2005. doi.org/10.1205/cherd.04351.
9. Ohno, T., & Bodek, N. *TPS*. Productivity Press, 2019. doi.org/10.4324/9780429273018.
10. Okur, A. S. 2000'li Yıllarda Türkiye Sanayii İçin Yapılanma Modeli: Yalın Üretim. İstanbul: Vira Reklam Yayım, 2005.
11. Özkan, K., Birgün, S., Kılıçoğulları, P., & Akman, G. Responding to customer requirements with value stream mapping: an automotive industry application. *Proceedings of the 35th International Conference on Computers & Industrial Engineering*, Istanbul, Turkey, 19-22 June, 1517-1522, 2005.
12. Rand, G., Womack, J., & Jones, D. T. Lean Thinking-Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1148, 1997. doi.org/10.2307/3010314.
13. Rother, M., & Shook, J. *Learning to See*. Lean Enterprise Institute Inc., Brookline, MA, 1999.
14. Schmidtke, D., Heiser, U., & Hinrichsen, O. A simulation-enhanced value stream mapping approach for optimisation of complex production environments. *International Journal of Production Research*, 52(20), 6146–6160, 2014. doi.org/10.1080/00207543.2014.917770.

15. Shukla, A. Fat Results From Lean Implementation. *Journal of Plant Engineering.*, 2005.
16. Womack, J. P., & Jones, D. T. *Lean Thinking*. Simon & Schuster, New York, 2003.

YAPI İNŞAAT SEKTÖRÜNDE KALİTE FONKSİYON YAYILIMI VE HATA TÜRÜ ETKİLERİ ANALİZİ İLE KİŞİSEL KORUYUCU DONANIMLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Doç.Dr. Yusuf Sait TÜRKAN

İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa
ysturkan@iuc.edu.tr – 0000-0001-7240-183X

İzzet CALAYOĞLU

Ankara Üniversitesi
izzetcalayoglu@gmail.com – 0009-0001-2642-8940

İnşaat sektöründe meydana gelen iş kazaları, sektör için büyük bir problemdir. İş kazalarının önüne geçebilmek ve kazaların çalışanlar üzerinde neden olabileceği yaralanma, can kaybı gibi etkileri azaltabilmek için kişisel koruyucu donanımların kullanımı büyük önem teşkil etmektedir. İnşaat sektöründe en sık rastlanan iş kazaları ile kişisel koruyucu donanımların ilişki düzeyinin incelendiği bu çalışmada, Kalite Fonksiyon Yayılımı yönteminden yararlanılmıştır. Buna göre kaza olasılıkları ve etkileri iki farklı kalite evinde incelenerek Hata Türleri ve Etki Analizinden de yararlanılarak kişisel koruyucu donanımların kazaların olasılık ve etkilerini ne düzeyde azaltabileceği incelenmiştir. Ortaya konulan hibrit yöntem ile kişisel koruyucu donanımların inşaat sektöründe kullanımlarına yönelik önem seviyeleri ve öncelikleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnşaat Sektöründe Kişisel Koruyucu Donanımlar, Kalite Fonksiyon Yayılımı, Hata Türü ve Etkileri Analizi

EVALUATION OF PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT WITH QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT AND FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS IN THE BUILDING CONSTRUCTION SECTOR

ABSTRACT

Work accidents in the construction sector present a significant problem for the industry. In order to prevent work accidents and reduce the effects of accidents on employees such as injuries and loss of life, the use of personal protective equipment is of great importance. In this study, where the relationship between the most common work accidents in the construction sector and personal protective equipment is examined, the Quality Function Deployment (QFD) method was used. Accordingly, accident probabilities and effects were examined in two different quality houses and the level to which personal protective equipment can reduce the probability and effects of accidents was examined by using the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA). The hybrid method presented in this study enabled the determination of the importance levels and priorities of personal protective equipment for use in the construction sector.

Keywords: Personal Protective Equipment in the Construction Industry, Quality Function Deployment, Failure Mode and Effects Analysis

1. GİRİŞ

İş kazaları, tüm dünyada hem insan hayatında ciddi kayıplara yol açabilen hem de büyük ekonomik zararlara neden olan çok önemli bir problemdir. İnşaat sektörü, dinamik yapısı ve yüksek riskli çalışma koşulları nedeniyle bu kazaların en sık ve en ölümcül şekilde yaşandığı en riskli sektörlerden biridir (Hadikusumo, 2006; Sehsah, vd., 2020). Türkiye'de meydana gelen ölümlü iş kazalarının yaklaşık üçte biri inşaat sektöründe gerçekleşmektedir. Türkiye Sosyal Güvenlik Kurumu istatistiklerine göre, Türkiye'de 2020 yılında meydana gelen iş kazalarının yaklaşık %11'i inşaat sektöründe meydana gelmiştir (SKG, 2022). Bununla birlikte Türkiye'de tüm mesleki sektörlerde toplam ölüm sayılarında ise inşaat sektörü en fazla ölümün gerçekleştiği sektör olmuştur. 2020 inşaat sektöründe 347 ölümlü kaza gerçekleşmiş olup (SGK, 2022) bu oran tüm ölümlü kazaların %28'ini oluşturmaktadır. Bu istatistikler, inşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarının önemini bir kez daha gözler önüne sermektedir.

İnşaat sektöründe ortaya çıkan iş kazalarının çok farklı türleri ve alt nedenleri vardır. Bu kazaların başlıca nedenleri arasında düşme, elektrik çarpması, ağır ekipman kazaları ve iş makinesi kazaları bulunmaktadır. Özellikle düşme kazaları, ölümlü iş kazalarının en yaygın türlerinden biri olarak dikkat çekmektedir. İş kazalarına neden olan etkenler incelendiğinde,

güvenli olmayan çalışma ortamları ve güvenli olmayan çalışan hareketleri ile güvenlik teçhizatına aldırış etmeme ve güvenlik prosedürlerine riayet etmeme gibi etkenlerin daha ön planda olduğu görülmektedir (Ogundipe, 2018) iş kazalarına neden olan başlıca etkenler olarak belirlenmiştir. İnşaat sektöründeki kazaların ayrıca bireysel hatalar, ekipman arızaları, yetersiz denetim ve eğitim eksikliğinden kaynaklandığı belirtilmektedir. Bu durum, sektörde güvenli çalışma ortamlarının oluşturulmasının ne denli önemli olduğunu göstermektedir.

İnşaat sektöründeki iş kazalarının sayısını ve etkilerini azaltmak için çeşitli önlemler alınmaktadır. Bu önlemler, işçi eğitiminden teknik güvenlik tedbirlerine kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Ancak, kişisel koruyucu donanımlar (KKD), özellikle kazaların etkilerini azaltma konusunda en etkili ve yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Çalışanı iş yerinde kaza riskinden veya mesleki hastalıklardan koruyan ekipmana kişisel koruyucu ekipman ve araçlara kişisel koruyucu donanımlar denilmektedir (Muema, 2017; Vidua vd., 2020). KKD'ler çok farklı türlerde olabilmekte ve özel gereksinimlere uygun olarak da her geçen gün sayıları ve çeşitleri artmaktadır. En yaygın türlerinden bazıları, güvenlik botları, eldivenler, solunum koruyucu ekipman, yüksek görünürlüklü giysiler, güvenlik kaskları ve göz koruyucuları gibi donanımlardır (ILO, 2020). KKD'ler, çalışanları olası tehlikelere karşı fiziksel bir bariyerle koruyarak hem yaralanmaların şiddetini azaltır hem de işçilerin çalışma ortamındaki güvenlik hissini artırır. KKD kullanımına yönelik düzenlemeler ve standartlar, iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının ayrılmaz bir parçasıdır. Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (T.C. Resmi Gazete, 2012) kapsamında, işverenlerin çalışanlarına uygun KKD sağlaması zorunlu kılınmıştır. Ancak, bu ekipmanların etkin kullanımı, yalnızca işverenin sorumluluğuyla sınırlı değildir; işçilerin de bu donanımları doğru ve düzenli bir şekilde kullanması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada yapı inşaat sektöründe yararlanılan KKD'lerin kullanım önem seviyeleri belirlenmesine yönelik hibrid bir model ortaya konulmuştur. Modelde KKD'lerin olası kazaların sayısını ve etkisini azaltmaya yönelik durumları değerlendirilmiştir. Bunun için Kalite Fonksiyon Yayılımı ve Hata Türü ve Etkileri Analizi metotları birlikte kullanılmıştır. Çalışmada konut sektöründe yapılan bir uygulama ile KKD'lerin kullanımının önceliklendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan metodolojide yaygın olarak kullanılan ya da kullanılması istenen KKD'lerin her biri için bir kazanın gerçekleşme olasılığını azaltmaya etkisi ile kaza oluştuktan sonraki çalışana etkisini azaltmadaki rolü sorgulanmış ve analitik hesaplamalar ile KKD'nin kullanımına yönelik önem seviyesi belirlenmiştir.

2. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE KİŞİSEL KORUYUCU DONANIMLAR

Çalışanı iş yerinde kaza riskinden veya mesleki hastalıklardan ve bunlara ait etkilerden koruyan ekipman, kişisel koruyucu ekipman (KKD) olarak ifade edilmektedir (Tadesse vd. 2016; Emmanuel ve Aguwa, 2016; Sawada vd., 2017). KKD, inşaat sektöründe iş kazalarını ve yaralanmaların ciddiyetini azaltmada hayati bir role sahiptir. KKD'ler, işçileri fiziksel tehlikelere karşı koruyarak onların güvenliğini sağlar ve iş kazalarının sonuçlarını hafifletir. Örneğin, baretler başın düşen cisimlerden korunmasını sağlarken, emniyet kemerleri ve halat sistemleri yüksekte çalışma sırasında düşme riskini minimize eder. KKD'ler sadece fiziksel koruma sağlamaz, aynı zamanda işçilerin çalışma ortamında kendilerini daha güvende hissetmelerine de yardımcı olur. Bu durum, işçilerin moralini ve motivasyonunu artırarak genel iş verimliliğini olumlu yönde etkiler. Ancak, KKD'nin etkin bir şekilde

kullanılabilmesi için işçilerin bu ekipmanları doğru şekilde kullanmayı öğrenmeleri ve bu konuda düzenli olarak eğitilmeleri gerekmektedir.

İnşaat sektöründe kullanılan kişisel koruyucu donanım (KKD) türleri, işçilerin maruz kalabileceği tehlikelerin çeşitliliği nedeniyle oldukça geniş bir yelpazeye yayılmıştır. Bunlar arasında baş koruyucuları, göz ve yüz koruyucuları, işitme koruyucuları, solunum koruyucuları, el ve ayak koruyucuları, vücut koruyucuları ve yüksekte çalışmayı destekleyen ekipmanlar yer alır. Başlıca yararlanılan donanımlar olarak şunlar verilebilir;

- **Baş Koruyucuları:** Baretler, inşaat sektöründe en yaygın kullanılan KKD türlerinden biridir. Düşen cisimlerin neden olduğu kafa yaralanmalarını önlemek amacıyla tasarlanmıştır. Ayrıca, bazı özel baretler elektrik yalıtımı sağlayarak elektrik çarpmalarına karşı da koruma sunar.
- **Göz ve Yüz Koruyucuları** Gözlükler ve yüz siperlikleri, işçileri taşlama, kaynak yapma veya kimyasal madde kullanımı sırasında oluşabilecek parçacıklardan ve sıçramalardan korur. Bu ekipmanlar, göz ve yüz yaralanmalarını en aza indirmede etkili bir rol oynar.
- **Kulak-İşitme Koruyucuları:** Şantiyelerdeki yüksek ses seviyeleri, işçilerin işitme sağlığını tehdit edebilir. Kulak tıkaçları ve kulaklıklar, bu tür zararların önlenmesinde kritik öneme sahiptir.
- **Solunum Koruyucuları:** Tozlu veya kimyasal maddelerin bulunduğu ortamlarda solunum yollarını korumak için kullanılan maskeler ve solunum cihazları, uzun vadeli sağlık sorunlarının önlenmesine yardımcı olur.
- **El ve Ayak Koruyucuları:** Eldivenler, kesilme, delinme ve kimyasal maddelere maruz kalmayı önlemek için kullanılır. Çelik burunlu botlar ise ağır malzemelerin düşmesine karşı ayakları korur.
- **Vücut Koruyucuları:** Yüksek görünürlüklü kıyafetler, işçilerin hareketli ekipmanlar tarafından fark edilmesini sağlar. Ayrıca, ısıya dayanıklı veya kimyasal koruma sağlayan giysiler, belirli projelerde önemli bir güvenlik önlemi sunar.
- **Yüksekte Çalışma Ekipmanları:** İnşaat sektöründe yüksekte çalışma, en riskli faaliyetlerden biridir. Emniyet kemerleri, halat sistemleri ve güvenlik ağları, düşme riskini minimize etmek için yaygın olarak kullanılır.

İnşaat projelerinin çeşitliliği, KKD kullanım gereksinimlerini doğrudan etkiler. Küçük ölçekli projelerde temel KKD'ler yeterli olabilirken, büyük ölçekli ve karmaşık projelerde daha gelişmiş ekipmanların kullanımı gerekebilir. Örneğin, bir konut projesinde genellikle standart baretler, eldivenler ve çelik burunlu botlar kullanılırken, bir tünel projesinde solunum cihazları ve özel koruyucu kıyafetlere ihtiyaç duyulabilir. Ayrıca, farklı coğrafi bölgelerde yürütülen projelerde, çevresel koşullar da KKD gereksinimlerini etkileyebilir. Örneğin, aşırı sıcak bölgelerde çalışan işçiler için hafif ve nefes alabilir koruyucu giysiler tercih edilirken, soğuk iklimlerde ısı yalıtımlı ekipmanlar kullanılmalıdır.

İş kazaları ve KKD'lerin ilişkisi birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Cheng ve arkadaşları (2010), iş kazalarının en önemli nedenlerinden biri olarak koruyucu donanımların kullanılmamasını ifade etmişlerdir. Buna göre KKD kullanmama ile birlikte,

yüksekte çalışma, hareket ederken denge kaybı ve yetersiz deneyim gibi farklı faktörlerin bir kombinasyonu nedeniyle iş kazalarının oluştuğunu ifade etmektedirler.

KKD kullanımını her ne kadar çok hayati bir kullanım olsa da literatürdeki çalışmalar incelendiğinde KKD kullanımda önemli problemler olduğunu görülmektedir. Lette vd. (2018), inşaat işçilerinin çoğunun çalışırken KKD kullanmayı ihmal ettiğine yönelik tespitlerini paylaşmışlardır. Şantiyelerde, KKD'yi uygun şekilde giymek en önemli ancak en çok ihmal edilen kurallardan biridir (McGovern 2014). Man ve arkadaşları (2017) yapmış oldukları araştırmada çalışanların önemli bir kısmının belirli sıklıklarda KKD kullanmayı bıraktığını belirtirken, Izudi vd. (2017), çalışanlardan kısmı ya da geçici işe sahip olanların tam zamanlı devamlı çalışanlara göre KKD kullanımında daha tavizkar olduklarını belirlemişlerdir. Wu vd. (2020) ise araştırmaları sonucunda çalışma temposunun ve çalışma koşullarının KKD kullanımını olumsuz etkileyebildiğini ifade etmişlerdir. KKD kullanımını yaygınlaştırmak ve etkinliğini artırmak için bazı zorlukların aşılması gerekmektedir. Bu zorluklar arasında işçilerin KKD kullanımına direnç göstermesi, ekipmanların yanlış kullanımı, maliyet engelleri ve düzenli bakım eksikliği yer alır. Bu sorunların çözümü için işçilere düzenli eğitimler verilmesi, ekipmanların düzenli olarak kontrol edilmesi ve işverenlerin KKD'leri temin etmekte yeterli desteği sağlaması gereklidir.

3. KİŞİSEL KORUYUCU DONANIMLARIN RİSK ÖNEM SEVİYESİNİN BELİRLENMESİNDE FMEA VE QFD

İnşaat sektöründe iş kazalarını önleme ve etkilerini azaltmada kişisel koruyucu donanımlar hayati bir rol oynamaktadır. KKD'lerin doğru kullanımı, işçilerin güvenliğini artırmanın yanı sıra iş yerindeki verimliliği de olumlu yönde etkiler. Farklı inşaat projelerine uygun KKD türlerinin seçilmesi, güvenlik önlemlerinin etkinliğini artırırken iş kazalarının sayısını ve ciddiyetini azaltır. Bu nedenle, KKD kullanımına yönelik farkındalığın artırılması ve yaygınlaştırılması, inşaat sektörünün daha güvenli bir hale gelmesi için vazgeçilmez bir adımdır. Bu kapsamda bir projede hangi KKD'nin elzem olduğu hangisinin ise isteğe bağlı kullanılabileceği önemli bir araştırma konusudur. Bu çalışmada bu sorunun cevabını aramak için iki farklı yöntem birleştirilerek hibrid bir model ortaya konulmuştur.

3.1. Hata Türü ve Etkileri Analizi

Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA), toplam kalite yönetimi sistemlerinin kullandığı en önemli önleme tekniklerinden biri olarak öne çıkar. Bu yöntem, ürün tasarımı ve geliştirme süreçlerinde ortaya çıkabilecek olası hataları sistematik bir şekilde analiz ederek, bu hataların nedenlerini ve etkilerini belirlemeyi amaçlar. Tasarım aşamasından üretime kadar olan her safhada uygulanabilen bu analiz, ürünlerin piyasaya sunulmadan önce eksiksiz ve güvenilir bir hale getirilmesini sağlar. Diğer yönetim ve araçlarından farklı olarak FMEA, sonradan analiz yöntemi olmaktan ziyade sistem arızalarını önlemeye yönelik proaktif bir yöntemdir (Liu vd. 2019; Lo vd. 2019). FMEA, ürünün tasarım ve proses aşamalarını adım adım inceleyerek, potansiyel hata türlerini belirler ve bu hataların olası etkilerini analiz eder. Ardından, bu hataların kaynaklarının tespit edilmesi ve hataları önlemek için uygun önlemlerin alınması süreci başlatılır. Bu analiz sonucunda hesaplanan Risk Öncelik Sayısı

(RÖS), ürünün hangi bölgelerinde iyileştirme yapılması gerektiğini belirler ve çözüm odaklı bir yaklaşım sağlar.

FMEA'nın temel amacı, potansiyel hataları ve bu hataların müşteri veya ürün üzerindeki etkilerini tespit ederek, bu etkileri azaltacak veya ortadan kaldıracak önlemleri planlamaktır. Bu şekilde, ürünün piyasaya çıkışından önce mükemmel hale getirilmesi hedeflenir. FMEA uygulamaları, yeni ürün ve malzeme geliştirme, mevcut proseslerin iyileştirilmesi, montaj sırasındaki hata tespiti ve ekipman tasarımları gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu yöntemin başarılı bir şekilde uygulanması için, hata tespitinden düzeltici eylem planlamasına kadar her aşamanın disiplinli bir şekilde yürütülmesi gerekir.

FMEA, genellikle Tasarım FMEA ve Proses FMEA olmak üzere iki ana kategoride ele alınır. Her iki tür de farklı aşamalarda potansiyel hataları ve bunların etkilerini analiz etmeyi amaçlar. Tasarım FMEA, bir ürünün tasarım aşamasında uygulanarak, ürünün riskli bölgelerini ve olası zayıf noktalarını tespit etmeyi hedefler. Bu yöntem, tasarım sürecinde karşılaşılabilecek hataları önceden belirleyerek, ürünün fonksiyonlarının ve özelliklerinin müşteri beklentilerini karşılayacak şekilde optimize edilmesini sağlar. Tasarım FMEA, malzeme ve komponent seçimi, şekil ve boyut gibi tasarım özelliklerinden, ürünün dayanıklılığı ve servis kolaylığına kadar geniş bir kapsama sahiptir. Her bir montaj elemanı, fonksiyonları ve etkileri açısından değerlendirilir ve potansiyel hata mekanizmaları tespit edilir. Proses FMEA, bir ürünün üretim sürecinde karşılaşılabilecek hataları belirlemeyi amaçlar. Üretim teçizatı, montaj akışı ve operasyonel zayıf noktaları gibi unsurlar üzerine odaklanan bu yöntem, hataların nedenlerini analiz ederek, üretim süreçlerinde daha iyi bir güvenilirlik sağlar. Proses FMEA, potansiyel hataların olası sebeplerini ve bu hataların etkilerini değerlendirmek için analitik bir yaklaşım sunar. Bu analiz sonucunda, hataları önceden tespit ederek önleyici tedbirlerin uygulanması sağlanır. Aynı zamanda, yeni makine veya ekipman tasarımlarının geliştirilmesi sırasında da yardımcı bir aracı olarak kullanılır.

FMEA'nın en kritik unsurlarından biri olan Risk Öncelik Sayısı (RÖS), hataların önceliklendirilmesinde kullanılır. RÖS, hatanın olasılığı, etkisi ve tespit edilebilirliği gibi faktörlerin birleştirilmesiyle hesaplanır. Bu değer, düzeltici eylemler için hangi hatalara öncelik verilmesi gerektiğini belirler. RÖS hesaplanırken aşağıdaki üç değer dikkate alınabilir.

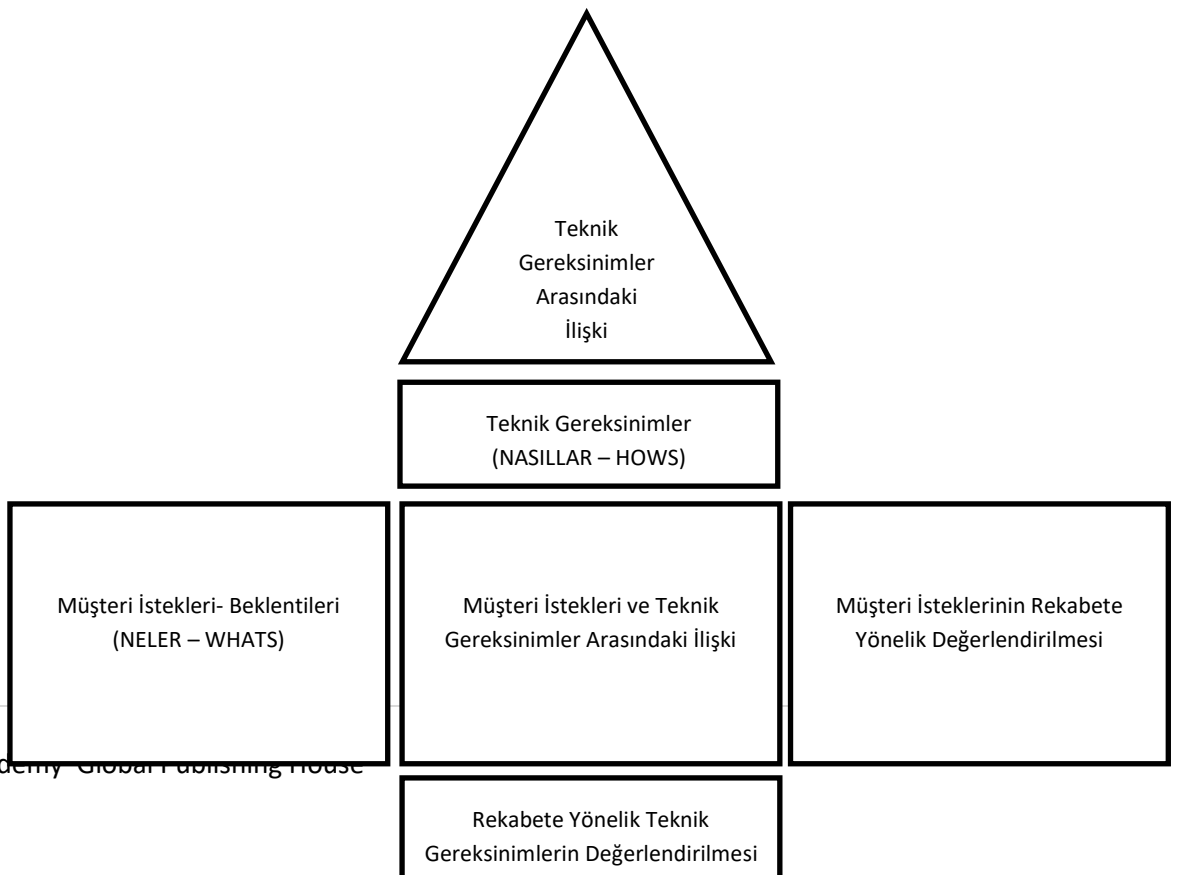
- O (Olasılık): Hatanın-kazanın meydana gelme olasılığı.
- E (Etki): Hatanın-kazanın sistem müşteri ya da çalışan üzerindeki etkisi.
- S (Saptanabilirlik): Hatanın öncesinde saptanabilme durumu..

Bazı çalışmalarda saptanabilirlik dikkate alınmayabilmektedir. Yüksek RÖS değerine sahip hatalar, öncelikli olarak ele alınır ve bu hataları azaltacak veya ortadan kaldıracak düzeltici eylemler planlanır FMEA, erken aşamada potansiyel hataların tespit edilmesi sayesinde ürün geliştirme sürecinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlar. Bu analiz, ürün kalitesini artırırken, müşteri memnuniyetini de olumlu yönde etkiler. Ancak karmaşık sistemlerde uygulanması zorlu olabilir; bu durum, gerekli uzmanlık seviyesinin yüksek olması ve hata mekanizmalarının birbirine bağlı olmasından kaynaklanabilir.

3.2. Kalite Fonksiyon Yayılımı

Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY), müşteri gereksinimlerini işletmenin performans hedefleriyle birleştirerek ürün veya hizmet süreçlerinin yapılandırılmasını sağlayan 1972 yılında Akao tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Mizuno ve Akao (1978), yazmış oldukları kitaplarında yöntemi açıklamış ve kitabın İngilizceye çevrilmesiyle birlikte metot farklı alanlarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Yöntem, başlangıçta mühendislik uygulamaları ve ürün geliştirme süreçlerinde kullanılmış, ancak zamanla daha geniş alanlarda uygulanmaya başlanmıştır. KFY, işletmelerin öncelikli konularını belirlemede etkili bir araçtır. Bu yaklaşım, ekip çalışmasıyla elde edilen verileri sistematik bir şekilde değerlendirerek, zaman kayıplarını önler ve işletmenin karar alma süreçlerini hızlandırır. Moran ve Nakul (1991), KFY'nin müşteri gereksinimlerine ilişkin bilgi sağlayarak işletme faaliyetlerini ortak bir hedef doğrultusunda bütünleştirdiğini vurgular. Ayrıca, Cohen (1995), KFY'nin işletmelere sunduğu avantajlar arasında müşteri ihtiyaçlarının ve ürün tasarım gereksinimlerinin net bir şekilde belirlenmesi, kalite ve güvenilirliğin artırılması gibi unsurların bulunduğunu ifade etmektedir.

Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY), müşteri beklentilerini anlamak ve bu beklentilere uygun çözümler geliştirmek amacıyla kullanılan bir metottur. Bu yaklaşım, müşteri isteklerini “neler” olarak tanımlarken, bu istekleri karşılayacak teknik gereksinimleri “nasıllar” olarak ifade eder. KFY'nin temel yapısı olan kalite evi, müşteri talepleri ile işletme süreçlerini ilişkilendirir ve müşteri odaklı çözümler geliştirilmesini sağlar. Kalite evinin merkezinde yer alan ilişki matrisi, müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasındaki bağları değerlendirir. Güçlü bir ilişki, belirli bir teknik gereksinimin ilgili müşteri talebini etkili bir şekilde karşılayabildiğini gösterirken, bir bağlantı olmaması teknik gereksinimin müşteri beklentilerine katkıda bulunmadığını ortaya koyar (Turkan ve Aydogmus, 2016). Bu yapı sayesinde, işletmeler kaynaklarını doğru alanlara yönlendirebilir ve müşteri memnuniyetini artırabilir. KFY'nin bu sistematik yaklaşımı, ürün ve süreç geliştirme faaliyetlerinde verimlilik sağlayarak işletmeler için stratejik bir avantaj sunar.



Görsel 1: Kalite Evi (Turkan ve Aydogmus, 2016)

Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) sürecinde dikkate alınan temel parametreler şunlardır (Turkan ve Aydoğmuş, 2016):

- Müşteri istek ve beklentileri: Müşterilerin ürün veya hizmete yönelik taleplerinin önem seviyelerini ifade eder. Mevcut hizmet performansı, bu taleplerin ne kadar karşılandığını gösterir.
- Performans hedefleri: İşletmenin belirli bir müşteri talebiyle ilgili hedeflenen performans seviyesidir.
- Satış etkisi: İşletmenin, müşteri taleplerini daha iyi karşıladığında satışlarına olan etkisini ifade eder. Kar amacı gütmeyen kurumlar için bu, müşteri artışı ile değerlendirilebilir.
- İlerleme rasyosu: Müşteri taleplerini karşılama konusundaki gelişim potansiyelini gösterir. Performans hedeflerinin mevcut hizmet performansına bölünmesiyle hesaplanır.

$$\text{İlerleme Rasyosu} = \text{Performans Hedefleri} / \text{Mevcut Hizmet Performansı}$$

(1)

- Müşteri isteklerinin ham önem ağırlıkları: Müşteri isteklerin önem derecesi, satış noktası ve ilerleme rasyosunun çarpılması ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Ham Önem Ağırlığı} = \text{Müşteri İsteğinin Önem Derecesi} * \text{Satış Noktası} * \text{İlerleme Rasyosu}$$

(2)

4. UYGULAMA

Uygulama bir konut projesindeki veriler ve değerlendirmeler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda benzer projelerde yararlanılan en yaygın KKD'ler belirlenmiş ve bu KKD'lerin iş kazalarının önüne geçmedeki etkisi (kaza olasılığını azaltmak) ile kaza neticesinde oluşan ölüm yaralanma gibi durumların etkisini azaltma (kaza etkisini azaltmak) durumları incelenmiştir. Uygulamada iki farklı kalite evinden yararlanılmıştır. İlk kalite evinde KKD'lerin kaza olasılıklarını azaltmaya yönelik etkisi incelenmiştir. İkinci kalite evinde ise kaza şiddeti-etkisini azaltmaya yönelik etkisine bakılmıştır.

Kalite evlerinde sol tarafta iş kazalarına ait sınıflar ve kaza tipleri yer almaktadır. Üst kısımda ise bu kazaların olasılığını ya da etkisini azaltmaya yönelik hangi KKD'lerden yararlanılabileceği gösterilmektedir. Kalite evinde "9" ilgili kaza türü ile KKD arasında çok önemli bir ilişki olduğunu göstermektedir. "3" ise orta seviyedeki bir ilişkiyi göstermektedir.

“1” kaza türü ve KKD arasında zayıf da olsa bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Bu ilişkiler kaza olasılığını azaltmaya yönelik ya da kaza etkisini azaltmaya yönelik farklı farklı olabilmektedir. Bu nedenle çalışmada iki kalite evinden yararlanılmış ve hesaplamalar önce her biri için ayrı ayrı yapılmış, sonra ise hesaplamalar birleştirilmiştir.

	İŞ KAZALARI	KİŞİSEL KORUYUCU DONANIMLAR															Olasılık Derecesi						
		Tip Hi Bareler	Kulaklık	E(Electrical) Sınırlı Bareler	Kulak tıkacı	İş eldiveni	Çelik burunlu ayakkabı	Elektrikli/ilemeyen güvenlik botları	Güvenlik kıyafetleri	D halkaları/Konnektörler	Emniyet kemeri/Wücut koruma takımı	Yaşam hattı (Lifeline)	Ankrajlar	Düşüş engelleme sistemleri	Elektrikli/ilemeyen kauçuk eldiven	Kaynaççı maskesi		Hi-vis yelekler	Güvenlik gözlükleri	Yüz siporleri	Diz çizmeleri	Toz, sis maskesi	
İnsan Düşmesi	Düşeme-Platform kenarından düşme kazaları									9	9	9	9	9									10
	Yapı iskelesinden düşme kazaları									9	9	9	9	9									10
	Yapılardaki boşluklara düşme kazaları									9	9	9	9	9									10
	Çatılardan düşme kazaları									9	9	9	9	9									10
	Hareket eden platformlardan düşme									9	9	9	9	9									10
	Hemzemin düşmeler									9	9	9	9	9									10
	Korumasız bir yükseklikte çalışırken düşmeler									9	9	9	9	9									10
	Sabit inşaat merdivenlerinden düşme kazaları									9	9	9	9	9									10
	Yük asansörlerinden düşme kazaları									9	9	9	9	9									10
Malzeme Düşmesi	Gırgır vinç-Malzeme asansöründen																						8
	Yüksek yapı kısımlarından																						8
	Tünel tavanından																						8
	Yamaçtan malzeme düşmesi																						8
	Taşıttan (Yükleme-Boşaltma)																						8
	Elle taşınan malzeme düşmesi																						8
Elektrik Çarpması	Yapı yakını gerilim hattı																						6
	Gırgır vinç kaçakları																						6
	İç tesisat kaçakları																						6
	Elektrikli el aletleri kaçakları																						6
Taşıt/Arac/Makine Kazaları	Vinç kazaları																						4
	Kontrolü kaybeden hareket halinde taşıt kaza																						4
	Makine&Taşıt kazası																						4
	Şantiye içi trafik kazalarına maruziyet																	3					4
	Yapı makineleri kazaları																						4
	Ağır araç devrilmesi																						4
	Taşıt makinesinden göze sıçrama, yaranama																						6
Bir Cisimle Temas/Darbe Kazaları	Bir makinenin hareket eden parçasıyla temas																						8
	Savrulan, atılan bir cisimle temas kazası																						8
	Bir nesnenin vurmaları/çarpması																						8
	Kaldırma aygıtı çökmesi																						5
	El aleti vb. kullanırken kazalar																						9
	Bir cismin batması (çivi,bıçak vb.)					9	9		3										9				9
	Sabit bir nesne/cisme çarpmak																						9
	Delme,patlatmalarda gürültü sonrası işitme kaybı	9	9																				8
	Sivri uçlu, keskin kenarlı cisim yaranması					9	9		3											9			9
Göçme,Çökme,Kanal,Sıkışma vb. Kazalar	Zemin göçüğü altında kalma																						8
	Nefessiz kalıp boğulma (Havasızlık, duman vb.)																				3		6
	Kazı kenarı göçmesi/Yapı kısmı çökmesi																						6
	Toplu bir yük altında kalma																						6
	Bir uzvun sıkışması																						10
	Bir uzvun kaptırılması																						10
	Direnaj kanalı kazası																						4
	Cisimler arasında sıkışma																						4
	Çarpışma,kırılma,ezilme																						4
Patlayıcı,Yanıcı Madde Kazaları	Patlama,yangın nedeniyle kazalar																						4
	Kimyasallar nedeniyle kazalar																						5
	Tehlikeli madde/materyal kazalar																						5
	Mutlak Önem	0	72	0	72	162	162	0	54	810	810	810	810	810	0	0	12	0	0	162	18	4764	
	Bağıl Önem	0%	2%	0%	2%	3%	3%	0%	1%	17%	17%	17%	17%	17%	0%	0%	0.25%	0%	0%	3%	0.38%		

Görsel 2.. Olasılığa Yönelik Kalite Evi

	İŞ KAZALARI		KİŞİSEL KORUYUCU DONANIMLAR																Önem Derecesi			
	Tip Hi Barreler	Kulaklık	E(Elctric)l Sınıflı Barreler	Kulak tıkaçları	İle eldiveni	Çelik Burunlu ayakkabı	Elektrikli İletmeyen güvenlik botları	Güvenlik kasketleri	D halkaları/Konnektörler	Emniyet kemeri/Vücut koruma takımı	Yaşam hattı (Lifeline)	Ankrajlar	Düşüş engelleme sistemleri	Elektrikli İletmeyen kauçuk eldiven	Kaynakçı maskesi	Hi-vis yelekler	Güvenlik gözlükleri	Yüz spenleri		Diz çizmeleri	Toz sis maskesi	
İnsan Düşmesi	Düşme-Platform kenarından düşme kazaları																					10
	Yapı iskelesinden düşme kazaları																					10
	Yapılardaki boşluklara düşme kazaları																					10
	Çatılardan düşme kazaları																					10
	Hareket eden platformlardan düşme																					10
	Hemzemin düşmeler																					10
	Korumasız bir yükseklikte çalışırken düşmeler																					10
	Sabit inşaat merdivenlerinden düşme kazaları																					10
	Yük asansörlerinden düşme kazaları																					10
Malzeme Düşmesi	Gırgır vinç-Malzeme asansöründen																					8
	Yüksek yapı kısımlarından																					8
	Tünel tavanından																					7
	Yamaçtan malzeme düşmesi																					8
	Taşıttan (Yükleme-Boşaltma)																					7
	Elle taşınan malzeme düşmesi																					5
Elektrik Çarpması	Yapı yakını gerilim hattı																					8
	Gırgır vinç kaçakları																					8
	İç tesisat kaçakları																					8
	Elektrikli el aletleri kaçakları																					8
Taşıt/Araç/ Makine Kazaları	Vinç kazaları																					7
	Kontrolü kaybeden hareket halinde taşıt kaza																					8
	Makine&Taşıt kazası																					7
	Şantiye içi trafik kazalarında yaralanma																					7
	Yapı makineleri kazaları																					7
	Ağır araç devrilmesi																					9
	Taşılama makinesinden göze sıçrama ve yaralanma																					6
Bir Cisimle Temas/Darbe Kazaları	Bir makinenin hareket eden parçasıyla temas																					4
	Savrulan, atılan bir cisimle temas kazası																					4
	Bir nesnenin vurmaları/çarpması																					4
	Kaldirma aygıtı çökmesi																					5
	El aleti vb. kullanırken kazalar																					4
	Bir cismin batması (çivi,bıçak vb.)																					4
	Sabit bir nesne/cisme çarpmak																					4
	Delme sırasında çıkan gürültü ve ısıtme kaybı																					3
	Sivri uçlu, keskin kenarlı cisim yaralanması																					6
Göçme,Çökme,Kanal, Sıkışma vb. Kazalar	Zemin göçüğü altında kalma																					8
	Nefessiz kalıp boşulma (Havasızlık, duman vb.)																					8
	Kazı kenarı göçmesi/Yapı kısmı çökmesi																					8
	Toplu bir yük altında kalma																					8
	Bir uzvun sıkışması																					7
	Bir uzvun kaptırılması																					7
	Direnaj kanalı kazası																					7
	Cisimler arasında sıkışma																					7
	Çarpışma,kırılma,ezilme																					7
Patlayıcı , Yanıcı Madde Kazaları	Patlama, yangın nedeniyle kazalar																					9
	Kimyasallar nedeniyle kazalar																					9
	Tehlikeli madde/materyal kazaları																					8
Mutlak Önem		522	27	216	27	483	456	216	177	810	810	810	810	288	58	0	58	58	0	24	6660	
Bağıl Önem		8%	0.4%	3%	0.4%	7%	7%	3%	3%	12%	12%	12%	12%	4%	1%	0%	1%	1%	0%	0.3%		

Şekil 3. Şiddete Yönelik Kalite Evi

- Olasılığa yönelik değerlendirme sonucunda, “Düşme Koruyucular” yani D halkaları/Konnektörler, emniyet kemerleri, yaşam hattı, ankrajlar ve düşüş koruyucu sistemler; %17 ile bağıl önem oranlarında en yüksek yüzdeye sahip olan KKD türleri olmuştur. Bu grup KKD’ler özellikle, iş kazaları içinde “Yüksekten İnsan Düşmesi” kategorisi için büyük önleyici etkiye sahiptir ki yüksekten insan düşmesi kazaları inşaat sektöründe en çok meydana gelen ve en fazla ölümlü kazaya yol açan kaza türleridir. Bu kaza türlerinin önlenmesi, sahada meydana gelen yaralanma ve ölümleri büyük oranda engelleyecektir.
- Çelik burunlu ayakkabılar, güvenlik eldivenleri ve çizmeler çivi gibi sert ve yaralayıcı cisimlerin batması ve sivri kenarlı cisimler ile yaralanma durumlarını %3, kulaklık ve kulak tıkaçları ise yüksek gürültü, patlatma ve delme prosesleri, patlamalar gibi durumlarda işitme kaybı olasılığını %2 bağıl önem oranında önleyebilme potansiyeline sahiptir.
- Şiddete yönelik değerlendirme sonucunda, yine “Düşme Koruyucular” düşme olasılığını önemli ölçüde azaltabildiğinden ilgili kaza türünün oluşturabileceği şiddet derecesini de %12 bağıl önem oranında önleyebilmektedir. Bağıl yüzdelerde 2.sırada %8 ile “Baretler” özellikle malzeme düşmesi nedeniyle meydana gelen kazaları doğrudan şekilde, göçük altında kalma, sıkışma, ezilme gibi kazaların oluşturabileceği hasarı ve şiddet miktarını ise doğrudan önleyebilme potansiyeline sahiptir. %7 ile güvenlik eldivenleri ve çelik burunlu ayakkabılar ise bir cismin batması, bir makinenin hareket eden parçasıyla temas, sivri uçlu/keskin kenarlı cisim yaralanmaları, bir uzvun kaptırılması/sıkışması gibi kaza türlerinin şiddet miktarını azaltabilmektedir.

Hem şiddet hem de olasılık parametrelerinin ortak bir çarpımı yapılarak elde edilen Risk öncelik sayısı (RÖS) hesabı dikkate alınarak başka bir değerlendirme yapmak gerekirse;

- 1.sırada “Düşme Koruyucular”,
- 2.sırada “İş/Güvenlik Eldivenleri ve Çelik Burunlu Ayakkabılar”,
- 3.sırada “Tip I-II Baretler,
- 4.sırada özellikle elektrik kaçakları ve çarpmaları durumlarının önüne geçebilmek için büyük önem arz eden “E Sınıfı Baretler, eldivenler, çizmeler” yer almaktadır.

Matematiksel olarak daha düşük değerlerde olsalar da “Göz ve Yüz Koruyucu” grup kişisel koruyucu donanımlar da “Göze Sıçrama ve Yaralanma” kazalarının tahribat durumunu büyük ölçüde azaltmada önemli rol oynamaktadır.

5. SONUÇ

İnşaat sektöründe iş kazalarını önleme ve kazaların etkilerini azaltma sürecinde kişisel koruyucu donanımların (KKD) rolü, iş sağlığı ve güvenliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışma, Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) ve Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) yöntemlerini birleştirerek, inşaat sektöründe KKD’lerin önemini ve etkinliğini değerlendirmiştir. İnşaat sektörü, dinamik yapısı ve tehlikeli çalışma koşulları nedeniyle iş kazalarının en sık ve ölümcül şekilde yaşandığı sektörlerden biridir. Türkiye'deki istatistikler, bu sektördeki iş kazalarının diğer sektörlere göre daha ölümcül sonuçlar doğurduğunu ve bu kazaların büyük bir kısmının düşme, ağır ekipman kazaları, elektrik çarpmaları ve iş makinesi kazaları gibi nedenlerden kaynaklandığını göstermektedir. Bu

durum, güvenli çalışma ortamlarının oluşturulması ve KKD kullanımının yaygınlaştırılmasının ne kadar önemli olduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır.

KKD'ler, iş kazalarının sayısını ve ciddiyetini azaltmada etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır. Çalışmada, farklı KKD türlerinin kazaları önlemedeki ve kazaların etkilerini hafifletmedeki etkinliği değerlendirilmiştir. Özellikle düşme koruyucular, inşaat sektöründe en ölümcül kazaların başında gelen yüksekten düşme olaylarını önlemede kritik bir öneme sahiptir. Benzer şekilde, baretler, baş yaralanmalarını önlerken, çelik burunlu ayakkabılar ve güvenlik eldivenleri kesilme, delinme veya ağır cisimlerin neden olduğu yaralanmaları azaltmaktadır. Bu donanımlar, hem çalışanların fiziksel güvenliğini sağlamakta hem de işçilerin çalışma ortamlarında kendilerini daha güvende hissetmelerine yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte, KKD kullanımının etkinliğini artırmak için işçilerin düzenli olarak eğitilmesi ve bu ekipmanların doğru bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

Araştırmada kullanılan hibrit model, KKD'lerin iş kazalarını önlemedeki ve etkilerini azaltmadaki rollerini daha sistematik bir şekilde değerlendirme imkanı sunmuştur. Kalite Fonksiyon Yayılımı, müşteri gereksinimleri ile teknik gereklilikleri ilişkilendirerek güvenlik önlemlerinin etkinliğini artırmayı hedeflerken, Hata Türü ve Etkileri Analizi, potansiyel hataları önceden belirleyerek düzeltici eylemlerin planlanmasına olanak tanımaktadır. Bu iki yöntemin bir arada kullanılması, KKD'lerin farklı inşaat projelerinde ne derece etkili olduğunu ve hangi durumlarda hangi ekipmanların öncelikli olarak kullanılacağını belirlemeye yardımcı olmuştur. Örneğin, yüksekte yapılan çalışmalarda düşme koruyucuların, kapalı alanlarda ise solunum koruma ekipmanlarının öncelikli olduğu ortaya konulmuştur. Bu sistematik yaklaşım, kaynakların etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamakta ve iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının verimliliğini artırmaktadır.

KKD kullanımının önündeki engeller, bu çalışmada dikkat çeken bir diğer önemli konudur. Literatürdeki çalışmalar, işçilerin KKD kullanımına direnç gösterdiğini, ekipmanların yanlış veya eksik kullanıldığını ve maliyet gibi faktörlerin KKD kullanımını sınırladığını ortaya koymaktadır. Bu sorunların aşılması için işverenlerin KKD temini ve bakımında daha fazla sorumluluk alması, işçilerin bu ekipmanları doğru şekilde kullanmayı öğrenmesi ve KKD kullanımı konusunda farkındalığın artırılması gerekmektedir. KKD kullanımının yaygınlaştırılması, yalnızca işçilerin güvenliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda işletmelerin verimliliğini ve çalışan memnuniyetini de olumlu yönde etkiler.

Araştırmanın bulguları konut projelerinde özellikle düşme koruyucuların iş kazalarını azaltmada ve etkilerini minimize etmede en etkili KKD olduklarını göstermektedir. Bu KKD'leri baretler ve çelik burunlu ayakkabılar takip etmiştir. Ayrıca, göz ve yüz koruyucular gibi diğer KKD'lerin belirli iş kazası türlerinde oynadığı kritik rol de vurgulanmıştır. Bu tür ekipmanların doğru bir şekilde seçilmesi ve kullanılması, inşaat sektöründe iş kazalarının sıklığını ve şiddetini azaltmada önemli bir fark yaratmaktadır. Uygulanan hibrit model, KKD'lerin önceliklendirilmesinde ve hangi projelerde hangi ekipmanların kullanılacağına karar verilmesinde etkili bir rehber sunmaktadır.

İnşaat sektöründe iş kazalarını önleme ve kazaların etkilerini azaltma konusunda KKD kullanımının önemi yadsınamaz. Bu çalışma, KKD kullanımını optimize etmek ve iş sağlığı ve güvenliği standartlarını yükseltmek için KFY ve FMEA yöntemlerinin bir arada

kullanılmasının sağlayabileceği avantajları ortaya koymuştur. Çalışma ayrıca, işçilerin güvenliğini artırmak ve iş kazalarını önlemek için KKD kullanımına yönelik eğitim ve denetim mekanizmalarının geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. İnşaat sektöründe daha güvenli bir çalışma ortamı oluşturmak için KKD kullanımını yaygınlaştırmak ve etkinliğini artırmak, hem işverenlerin hem de çalışanların ortak sorumluluğudur. Bu çerçevede, sistematik yaklaşımların benimsenmesi ve iş sağlığı ve güvenliği politikalarının bu doğrultuda şekillendirilmesi, sektör genelinde güvenli ve sürdürülebilir bir çalışma kültürünün oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

17. Cheng, C.W., Leu, S.S., Lin, C.C., Fan, C. Characteristic analysis of occupational accidents at small construction enterprises. *Saf. Sci.*, 48, 698–707, 2010.
18. Cohen, L. *Quality Function Deployment, How to Make QFD Work For You*, Addison Wesley, Reading, Massachusetts, 1995.
19. Emmanuel, N., Aguwa, S. Use of personal protective equipment among health workers in a tertiary health institution, South East Nigeria: pre-Ebola period. *Int J Heal Sci Res.*, 6:12-18, 2016.
20. Hadikusumo, K. Safety management practices in the Bhutanese construction industry. *J Constr Dev Ctries.*, 11:53-75, 2006.
21. ILO. *Personal protective equipment (Labour administration and inspection)*, 2020.
22. Izudi, J., Ninsiima, V., Alege, J.B. Use of personal protective equipment among building construction workers in Kampala, Uganda. *J. Environ. Public Health*, 2017, 7930589.
23. Lette, H., Kuklane, K., Wakatsuki, K., Morikawa, H. New development of research on personal protective equipment (PPE) for occupational safety and health. *Ind Health.*, 55:471-472, 2017.
24. Liu, H.C., Hu, Y.P., Wang, J.J., Sun, M.H. Failure mode and effects analysis using two-dimensional uncertain linguistic variables and alternative queuing method. *IEEE Trans. Reliab.*, 68:554–65, 2019.
25. Lo, H.W., Liou, J.J.H., Huang, C.N., Chuang, Y.C. A novel failure mode and effect analysis model for machine tool risk analysis. *Reliab Eng Syst Saf.*, 183:173–83, 2019.
26. Man, S.S., Chan, A.H.S., Wong, H.M. Risk-taking behaviors of Hong Kong construction workers—A thematic study. *Saf. Sci.*, 98, 25–36, 2017.

27. McGovern, O. Modernising the construction industry with biometrics and the cloud. *Biom. Technol. Today*, 10, 9–11, 2014.
28. Mizuno, S., Akao, Y. QFD: The Customer-Driven Approach to Quality Planning and Deployment. (Translated by Glenn H. Mazur). Asian Productivity Organization, 1994.
29. Moran, J.W., Nakul, V.S. Facilitating and Training in QFD, Methuen, Amacom Books, 1991.
30. Muema, L.M. Evaluation of personal protective equipment utilization among construction workers in Mombasa county, Kenya, 2017.
31. Ogundipe, K.O., Olanipekun, E.A., Olaniran, H.F., Akuete, E., Fagbenle, A.O. Factors affecting effective use of safety wears among construction site operatives: lessons from Indigenous firms in South Western Nigeria. *Int J Appl Eng Res.*, 13:4314-4325, 2018.
32. Sehsah, R., El-Gilany, A.H., Ibrahim, A.M. Personal protective equipment (PPE) use and its relation to accidents among construction workers. *Med Lav.*, 111:285-295, 2020.
33. SGK. Occupational Health and Safety in Construction Sector Statistics. Available online:
http://eski.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari
(accessed on 14 April 2024), 2022.
34. Tadesse, S., Kelaye, T., Assefa, Y. Utilization of personal protective equipment and associated factors among textile factory workers at Hawassa Town, southern Ethiopia. *J Occup Med Toxicol.*, 11:6-6, 2016.
35. T.C. Resmi Gazete. İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. Available online:
www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=6331&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5
(accessed on 121 April 2024), 2012.
36. Turkan, Y.S., Aydogmus, H.Y. Kalite Fonksiyon Yayılımı ile Bir Uzaktan Eğitim Sisteminin Değerlendirilmesi ve İyileştirilmesine Yönelik Bir Uygulama. *Aydın Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 2-Vol 2 ISSN 2149-5483, 59-76, 2016.
37. Vidua, R.K., Chouksey, V.K., Bhargava, D.C., Kumar, J. Problems arising from PPE when worn for long periods. *Med Leg J.*, 88:47-49, 2020.
38. Wu, C., Luo, X., Wang, T., Wang, Y., Sapkota, B. Safety challenges and improvement strategies of ethnic minority construction workers: A case study in Hong Kong. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.*, 26, 80–90, 2020.

MACHINE LEARNING FOR MATHEMATICAL OBJECT GENERATION: GANS AND REAL-ROOTED POLYNOMIALS

Research Assistant¹ – Graduate Student² Başak KARAKAŞ

¹Gebze Technical University, Institute of Information Technologies,

²Gebze Technical University, Department of Computer Engineering,

bkarakas2018@gtu.edu.tr - 0000-0002-3253-2963

Assoc. Prof. Mehmet GÖKTÜRK

Gebze Technical University, Department of Computer Engineering,

gokturk@gtu.edu.tr – 0000-0002-8030-8923

ABSTRACT

Machine learning has become an integral tool in numerous disciplines; however, its applications within mathematics remain underexplored. This study investigates the utilization of Generative Adversarial Networks (GANs) to generate real-rooted polynomials, specifically focusing on degree 2. By leveraging the generative capabilities of GANs, the research demonstrates the feasibility of producing mathematical objects with specific properties.

The generator network is responsible for creating polynomial coefficients from random input data, while the discriminator network distinguishes real-rooted polynomials from those without real roots. To ensure the validity of the generated polynomials, the discriminant (e.g., $b^2 - 4ac$ for a polynomial $p(x) = ax^2 + bx + c$) is integrated into the loss function. Normalizing the polynomial coefficients to the range $[-1, 1]$ enhances the stability of the training process and improves output accuracy, aligning the distributions of generated and real data.

During the study, datasets were created to include polynomials represented in different bases, as well as those with exclusively rational, exclusively irrational, or real roots. These datasets enabled a detailed examination of network behavior under different conditions, providing critical insights for extending the method to higher-degree polynomials.

Experimental results indicate that the proposed GAN model achieves over 90% accuracy in generating degree 2 real-rooted polynomials. This study underscores the potential of GANs in creating datasets for mathematical research and presents a novel approach to mathematical

object generation. Future research directions include extending the method to higher-degree polynomials and exploring its adaptability to more complex mathematical challenges.

Keywords: GANs, Real-Rooted Polynomials, Machine Learning

1. INTRODUCTION

Machine learning is an exceptionally powerful tool and is widely utilized across various domains today. While extensive research exists on the application of machine learning in numerous fields, there is a noticeable scarcity of studies exploring its use for addressing mathematical problems [3,6,2,5]. In this work, we aim to demonstrate how Generative Adversarial Networks (GANs) can be employed to generate real-rooted polynomials.

The task of generating real-rooted polynomials is compelling for several reasons. One notable motivation is the ability to create datasets of such polynomials for further experimentation with machine learning techniques. Traditionally, constructing such datasets would require considerable time and manual effort; however, with the use of generative networks, this process becomes significantly more efficient and straightforward. Another reason to explore this task is to investigate whether neural networks are capable of generating families of polynomials that exhibit specific, additional properties.

This study represents a foundational effort in leveraging GANs to generate mathematical objects, paving the way for future research into the application of machine learning techniques in mathematical domains.

1.1 Generative Adversarial Networks (GANs)

A Generative Adversarial Network (GAN) is a framework comprising two distinct artificial neural networks, known as the generator (G) and the discriminator (D), that train through an adversarial process. The generator is designed to produce data that closely resembles the real data, while the discriminator is tasked with differentiating between real data and the synthetic data generated by the generator.

These two networks engage in a dynamic learning process, where the generator continuously improves its ability to create realistic data by attempting to deceive the discriminator. Conversely, the discriminator refines its capability to distinguish real data from fake data. The generator updates its parameters based on the feedback from the discriminator, which evaluates the generated data. The discriminator, on the other hand, undergoes supervised learning by receiving labeled real data (assigned a value of 1) and generated data (assigned a value of 0), allowing it to effectively detect the discrepancies between real and fake inputs. This iterative process enables both networks to evolve simultaneously. Goodfellow et al. express this as a minimax two-player game [4]. Fig. 1 shows the general architecture of GANs.

GANs categorize data into three key distributions: $p_{data}(x)$ representing the distribution of real data, $p_z(z)$ denoting noisy input data, and $p_g(x)$ for data generated by the generator $G(z)$. The primary goal of the GAN is to train the generator to minimize the divergence between $p_{data}(x)$ and $p_g(x)$, with the assistance of the discriminator [1]. This adversarial relationship is

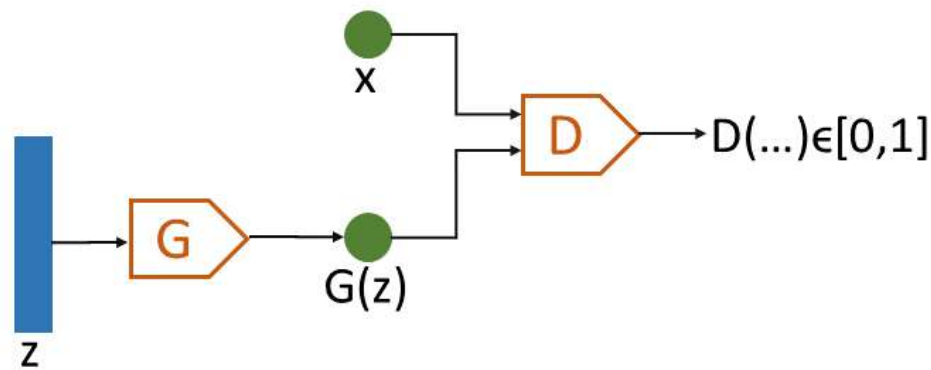


Fig. 1. General Architecture of GAN

mathematically represented as a minimax optimization problem, expressed by the following objective function:

$$\min_G \max_D V(D, G) = E_{x \sim p_{data}(x)} [\log D(x)] + E_{z \sim p_z(z)} [\log(1 - D(G(z)))].$$

Here, the discriminator outputs a value within the interval $[0, 1]$, where 0 corresponds to fake data and 1 to real data. Its goal is to maximize $D(x)$ for real data and minimize $D(G(z))$ for generated data. Meanwhile, the generator aims to maximize $D(G(z))$, effectively attempting to fool the discriminator. As Goodfellow et al. illustrated, the ideal state for a GAN occurs when the discriminator assigns approximately 0.5 to both $D(x)$ and $D(G(z))$, signifying that it can no longer differentiate between real and generated data [4]. At this point, the GAN is considered to have reached equilibrium, achieving an optimal balance between the generator and discriminator.

2. GAN FOR POLYNOMIALS

In this section, we describe the dataset and GAN we constructed and present the results obtained.

2.1. Creating The Dataset

In order to train the GAN we need a dataset of degree two RRP polynomials as the real data. Each polynomial $p(x) = (x - x_1)(x - x_2)$ is created by randomly choosing roots $x_1, x_2 \in [1, 32] \subset N$. Then the coefficients of every polynomial p are normalized in the range $[-1, 1]$.

Since the coefficients produced by G are generally in the range $[-1,1]$, it is better to use normalized (similar) data. Otherwise, if all real data has large coefficients and all generated data has small coefficients, D may be misled during training. We use the training and testing datasets containing 1000 and 200 polynomials respectively. These datasets are available online at alcyon.symbolic-computation.info/data.

2.2. The GAN Structure

Our GAN structure is shown in Fig. 2. The latent space is kept simple, and random noisy data z is generated by using a normal distribution as the input of G . The data is given to D in a random order by combining and mixing, in order not to direct D that all the polynomials it receives as input at the same time during the training process will be either real or generated by G . The output of D is a value in the range of $[0, 1]$ for each polynomial.

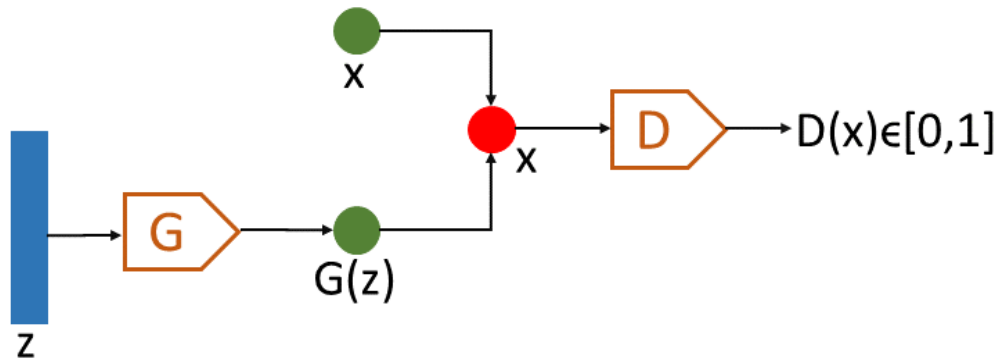


Fig. 2. Architecture of Our GAN

2.3. Networks

Multi-layer perceptron models with 2 hidden dense layers are used for both G and D . These networks with 64 neurons in each hidden layer are fully connected. G has 3 neurons in the output layer, while D has 1.

The activation function in the hidden layers of both G and D is ELU. ELU was chosen also for the output layer of G to create both negative and positive coefficients. For the output layer of D , we use sigmoid, since D performs binary classification and generating values in the range of $[0, 1]$ is convenient (using a threshold value of 0.5).

2.4. Cost Functions

The purpose of D is to classify the polynomials correctly. Assuming the label of a polynomial x_i is y_i , when y_i is 1, D wants to maximize $D(x_i)$, and when y_i is 0, it wants to maximize $1 - D(x_i)$. Thus we use the loss function

$$J_D = y_i \log(D(x_i)) + (1 - y_i) \log(1 - D(x_i))$$

and since D wants to maximize it, the cost function is

$$\min_D V(D) = \min_D -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i \log D(x_i) + (1 - y_i) \log(1 - D(x_i)).$$

G generates the coefficients of a polynomial by receiving noisy data z , trying to make the generated data similar to an RRP. Since we restrict to degree two polynomials, we use the discriminant $P([a, b, c]) = b^2 - 4ac$ as the loss function. G aims at making the discriminant positive, thus maximizing $P(G(z_i))$. The cost function is

$$\min_G V(G) = \min_G -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P(G(z_i)).$$

where the loss function is

$$J_G = P(G(z_i)).$$

2.5. Optimization

We use stochastic gradient descent (SGD) with a learning rate of 0.0002 as the optimizer for both networks in our GAN architecture. For D , the rate of correct responses to the data was observed using the accuracy metric. When G produces correct data, D , which is constantly improving itself, will reach the point where it will not be able to distinguish between fake and real data, so the accuracy will be around 0.5.

2.6. Training

The process of training is best described by a graph in Fig. 3. We observe the change in the number of non-RRP polynomials from 200 polynomials randomly generated by the generator during the testing phase of each epoch.

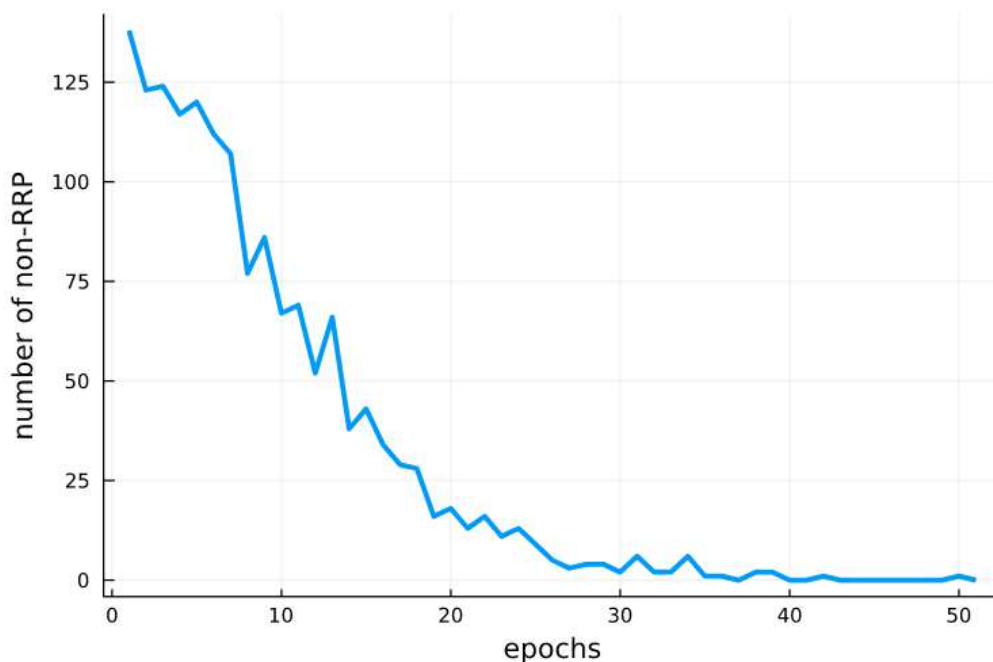


Fig. 3. Number of Non-Real Root Polynomials Created vs Epochs

When D 's accuracy reaches close to 0.5, the efficiency of G is 0.99. That was verified by examining clusters containing 60,000 randomly generated polynomials whose coefficients belong to the standard normal distribution.

3. CONCLUSION

From the experiments we conducted, it is clear that GANs can be used to produce mathematical objects with desired properties. We used a limited number of polynomials formed by choosing roots in $\{1, 2, \dots, 32\}$, and the GAN produced large-size sets of RRP with coefficients in $[-1, 1]$.

The main difficulty lies in the definition of an appropriate loss function. For degree 2 polynomials, the discriminant provides such a loss function with nice properties (e.g., continuous). For higher-degree polynomials, a natural choice would be minimizing the sum of the absolute values of the imaginary parts of the roots. Unfortunately, this function does not have the nice properties that would allow for gradient descent methods to work.

In future work, we plan to extend the described GAN to be able to produce real-rooted polynomials of higher degree.

Acknowledgements: We would like to thank Zafeirakis Zafeirakopoulos for useful discussions. The second author was supported by the project 117E501 under the program 3001 of the Scientific and Technological Research Council of Turkey.

KAYNAKÇA

1. Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., & Bengio, Y., Generative adversarial nets, *Advances in Neural Information Processing Systems*, 27, 2014.
2. Radford, A., Metz, L., & Chintala, S., Unsupervised representation learning with deep convolutional generative adversarial networks, *arXiv preprint*, arXiv:1511.06434, <https://arxiv.org/abs/1511.06434> (Erişim tarihi: 30.12.2024).
3. Salimans, T., Goodfellow, I., Zaremba, W., Cheung, V., Radford, A., & Chen, X., Improved techniques for training GANs, *Advances in Neural Information Processing Systems*, 29, 2016.

4. Odena, A., Olah, C., & Shlens, J., Conditional image synthesis with auxiliary classifier GANs, *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning-Volume 70*, 2642-2651, 2017.
5. Arjovsky, M., Chintala, S., & Bottou, L., Wasserstein GAN, *arXiv preprint*, arXiv:1701.07875, <https://arxiv.org/abs/1701.07875> (Erişim tarihi: 30.12.2024).

PRODIGY COMPOUND OF HALOPHILIC BACTERIA: ECTOINE

Prof. Dr. Furkan ORHAN¹, Assoc. Prof. Dr. Derya EFE², Asst. Prof. HAKAN KARAOĞLU³

¹Ibrahim Cecen University, Department of Molecular Biology and Genetic, biologyyy@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6906-6604

²Giresun University, Espiye Vocational School, Department of Medicinal and Aromatic Plants, mail.derya.efe@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4230-6780

³Recep Tayyip Erdogan University, Department of Basic Sciences, Faculty of Fisheries and Aquatic Sciences, hakan.karaoglu@erdogan.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4615-1157

ABSTRACT

Halophilic microorganisms exhibit an extraordinary ability to thrive in environments with low water activity, typically associated with high salt concentrations. Their survival in such extreme conditions largely depends on their adept regulation of turgor pressure. These organisms employ two distinct mechanisms to manage turgor pressure. The primary mechanism involves the internal accumulation of salts, predominantly potassium chloride (KCl), within the cell. This accumulation is vital for establishing osmotic equilibrium, effectively countering the salt stress exerted by the external environment. In parallel, the secondary mechanism involves the uptake of solutes that integrate seamlessly with cellular functions. These solutes can be absorbed from the external environment or synthesized *de novo* within the cell, ensuring compatibility with various cellular processes. Ectoine is one of the compounds synthesized *de novo* in response to salt stress and is the most extensively studied among them. This compound has been shown to effectively stabilize the structures of macromolecules such as DNA, proteins, and lipid bilayers. The stabilizing effects of ectoine result from a mechanism known as preferential exclusion. This process involves the exclusion of ectoine from the hydration layer surrounding the surface of macromolecules, leading to changes in the solvent structure around these macromolecules. The remarkable properties of ectoine have propelled it into the spotlight of numerous scientific investigations and have facilitated its application across diverse fields including cosmetics, medicine, and biotechnology. This review aimed to overview ectoine and its various application areas.

Key Words: halophilic, extreme conditions, ectoine, biotechnology

1. INTRODUCTION

Physiological environments generally have moderate conditions, including a pressure of 1 atm, pH of 7.4, temperature of 37 °C, and salinity of up to 3%, which most organisms prefer [1]. However, much of Earth does not maintain such conditions, with significant extreme environments across many regions. Extreme conditions include high or low temperatures, extreme pressures, pH variations, intense radiation, elevated salinity or ionic strength, and high concentrations of metal ions [2]. Unlike many complex eukaryotic organisms, microorganisms can survive across a broad spectrum of harsh, extreme environments beyond typical physiological norms. Microorganisms that thrive under extreme conditions such as psychrophiles, thermophiles, acidophiles, alkaliphiles, halophiles, xerophiles, barophiles, and radiophiles are known as extremophiles [3]. Recently, researchers have focused on identifying these extremophiles to understand their diversity, adaptation mechanisms, and potential for biotechnologically valuable bioproducts [4]. Among these, halophiles are particularly notable for their unique adaptations that enable survival in high-salinity environments, where salinity is a major factor influencing microbial community diversity. Saline environments covering much of Earth include tidal pools, salt mineral deposits, marine environments, soda lakes, hot springs, and saline soils [5]. Halophiles require at least 1 M salt concentration for growth and can thrive across various salinities. Based on their optimal salt requirements, halophiles are categorized as slight (0.34-0.85 M NaCl), moderate (0.85-3.4 M NaCl), and extreme halophiles (3.4-5.1 M NaCl). Halotolerant microorganisms, on the other hand, do not require high salt concentrations but can grow in both high and low salt conditions. Halophiles that can endure multiple extreme factors, such as pH, salinity, and temperature variations, are known as poly-extremophilic microorganisms [6].

Halophiles have a wide range of biotechnological applications. They are used in the bioremediation of unarable agricultural areas [7], and the biodegradation of diverse hydrocarbons, including plastics and petroleum hydrocarbons such as ethylbenzene, xylene, benzene, and toluene [8, 9]. Halophiles also play a role in producing biodegradable plastics like polyhydroxyalkanoate (PHA), poly-3-hydroxybutyrate (PHB), poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxy valerate) (PHBV), and polyhydroxy valerate (PHV) [10, 11]. Additionally, halophiles contribute to the development of cost-effective liposomes for nano-delivery-based vaccination, a promising approach in treating neoplastic diseases, cancer, and allergies [12]. Further applications include the production of small antimicrobial peptides with potential in biomedicine [13], metal bioremediation [14], and the production of enzymes with superior properties for industrial use [15, 16]. Halophiles are also involved in biofuel production [17], pigment production with antioxidant properties [18], and potential treatments for neurodegenerative diseases [19].

Among various biotechnologically significant metabolites produced by halophiles, ectoine is one of the most attractive compounds synthesized *de novo* in response to salt stress. This compound effectively stabilizes the structures of macromolecules such as DNA, proteins, and lipid bilayers [20, 21, 22, 23]. Ectoine's stabilizing effects are attributed to a mechanism known as preferential exclusion, whereby ectoine is excluded from the hydration

layer surrounding macromolecules, altering the solvent structure around them. The unique properties of ectoine have made it a focus of extensive scientific research and have facilitated its application in diverse fields, including biotechnology, industry, medicine, and cosmetics.

1.1. Biotechnology and industry

Ectoine has various notable applications in biotechnology and industry. One significant use is its ability to enhance the catalytic efficiency of lipase enzymes in biodiesel production, leading to higher biodiesel yields [24]. Ectoine has also been shown to stabilize lactoperoxidase enzymes, commonly utilized in the food industry. In addition, adding ectoine to the cultivation medium of the ethanol-producing bacterium *Zymomonas mobilis* has been found to improve both cell growth and glucose utilization while protecting the cells from ethanol's harmful effects during fermentation [25]. Another essential enzyme in molecular biology, lysozyme, plays a critical role in cell lysis, protein purification, and nucleic acid extraction. A recent study demonstrated that ectoine effectively stabilizes lysozyme in aqueous solutions exposed to heat shock at 70 °C for 10 minutes [26]. Furthermore, ectoine has emerged as a promising cryoprotectant for preserving bacterial cells as well as human cells, including oocytes, red blood cells, and natural killer cells, noted for its lack of adverse side effects [27, 28, 29, 30]. Additionally, the inclusion of ectoine in microbial denitrification processes has been shown to enhance nitrate reduction, thereby improving the denitrification of saline wastewater [31]. This potential not only promises to mitigate economic losses but also holds the prospect of expanding its utilization in the health and biotechnology sectors in the future.

1.2. Medicine

In medicine, studies on human epithelial cells, mice, and rats have shown that ectoine and its derivatives effectively alleviate intestinal disorders [32]. Long-term application of ectoine has been associated with the hypomethylation of CpG islands in skin cells and a reduction in 5-methylcytosine levels. Additionally, ectoine has been observed to modulate the expression of genes involved in epigenetic modifications [33]. Ectoine has also proven more effective than saline solution in relieving symptoms in patients with acute respiratory infections and acute bronchitis [34]. Its protective effects extend to eye health, particularly in treating tear fluid and dry eye [35]. Moreover, a study involving 33 patients with mild airway disease symptoms found that inhaling ectoine significantly reduced neutrophilic lung inflammation [36]. The compound has demonstrated efficacy in alleviating symptoms of allergic conditions, such as allergic rhinitis and acute rhinosinusitis [37]. Furthermore, ectoine shows promise in reducing side effects caused by radiotherapy or chemoradiation [38].

1.3. Cosmetics

The skin, the outermost of the body, is exposed to various external factors, including cold or hot temperatures, winds, surfactants, harmful cosmetics and cleaning products, radiation, and sun rays. These factors cause skin dryness, accelerated skin staining, and aging [39]. Secondary metabolites being produced by extremophiles against exposure to various stress factors, especially ectoine and its derivatives, have great potential for skin care [40]. Ectoine, a compatible solute, effectively protects cell membranes from surfactant damage and enhances skin barrier function when applied topically. Transepidermal water

loss tests indicate that ectoine improves skin hydration and has long-term moisturizing benefits [40].

Ectoine forms stable water clusters, outperforming glycerol in water retention at high temperatures. This stability is attributed not only to hydrogen bonding but also to ectoine's unique zwitterionic structure, which enhances its water-binding ability [41]. Consequently, ectoine is particularly promising for preventing water loss in dry or aging skin, promoting skin health, and reducing signs of aging [42]. Addison's disease, skin aging and damage, and melasma lead to pigmentation disparities and skin blemishes. The treatment of these skin diseases is mostly performed by natural whitening agents without side effects. Ectoine is an outstanding whitening compound with the ability to inhibit melanogenesis since it reduces mushroom and cellular tyrosinase levels, and inhibits melanin synthesis, the expressions of melanogenesis-related and melanoma-related proteins. Besides, it possesses no cytotoxic effects [43].

REFERENCES

- [1] Merino, N., Aronson, H.S., Bojanova, D.P., Feyhl-Buska, J., Wong, M.L., Zhang, S., Giovannelli, D. Living at the Extremes: Extremophiles and the Limits of Life in a Planetary Context, *Frontier Microbiology*, April 10,780, 2019. doi:10.3389/fmicb.2019.00780
- [2] Cayol, J.L., Ollivier, B., Alazard, D., Amils, R., Godfroy, A., Piette, F., Prieur, D. The Extreme Conditions of Life on the Planet and Exobiology. *Environmental Microbiology, Fundamentals and Applications*, 353-394, 2014. doi:10.1007/978-94-017-9118-2-10.
- [3] Rekadwad, B.N., Li, W.J., Gonzalez, J.M., Punchappady, D.R., Ananthapadmanabha, B.A., Urana, R., Parwez, K. Extremophiles: the species that evolve and survive under hostile conditions, *3 Biotech*, September,13(9):316, 2023. doi: 10.1007/s13205-023-03733-6.
- [4] Raddadi, N., Cherif, A., Daffonchio, D., Neifar, M., Fava, F. Biotechnological applications of extremophiles, extremozymes and extremolytes, *Applied Microbiology and Biotechnology*, October, 99(19):7907-7913, (2015). doi:10.1007/s00253-015-6874.
- [5] Pikuta, E.V., Hoover, R.B., Tang, J. Microbial extremophiles at the limits of life. *Critical Reviews of Microbiology*, 33(3): 183-209, 2008. doi:10.1080/10408410701451948.

- [6] Dutta, B., Bandopadhyay, R. Biotechnological potentials of halophilic microorganisms and their impact on mankind. *Beni Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, May, 11(1):75, 2022. doi: 10.1186/s43088-022-00252-w.
- [7] Orhan, F. Alleviation of salt stress by halotolerant and halophilic plant growth-promoting bacteria in wheat (*Triticum aestivum*). *Brazilian Journal of Microbiology*, September, 47:621-627, 2016. doi: 10.1016/j.bjm.2016.04.001
- [8] Margesin, R., Moertelmaier, C., Mair, J. Low-temperature biodegradation of petroleum hydrocarbons (n-alkanes, phenol, anthracene, pyrene) by four actinobacterial strains. *International Biodeterioration & Biodegradation Journal*, October, 84: 185-191, 2013. doi: 10.1016/j.ibiod.2012.05.004.
- [9] Moharir, R.V., Kumar, S. Challenges associated with plastic waste disposal and allied microbial routes for its effective degradation: a comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, January, 208:65-76, 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.059.
- [10] Sekiguchi, T., Sato, T., Enoki, M. Isolation and characterization of biodegradable plastic degrading bacteria from deep-sea environments. *JAMSTEC Report of Research and Development*, September, 11:33-41, 2011. doi: 10.5918/jamstecr.11.33.
- [11] Cristea, A., Baricz, A., Leopold, N., Floare, C.G., Borodi, G., Kacso, I., Tripon, S., Bulzu, P.A., Andrei, A., Cadar, O., Levei, E.A., Banciu, H.L. Polyhydroxybutyrate production by an extremely halotolerant *Halomonas elongata* strain isolated from the hypersaline meromictic Fără Fund Lake (Transylvanian Basin, Romania). *Journal of Applied Microbiology*, November, 125(5):1343-1357, 2018. doi: 10.1111/jam.14029.
- [12] McCluskie, M.J., Deschatelets, L., Krishnan, L. Sulfated archaeal glycolipid archaeosomes as a safe and effective vaccine adjuvant for induction of cell-mediated immunity. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, December, 2(13): 2772-2779, 2017. doi: 10.1080/21645515.2017.1316912.
- [13] Hu, C.B., Malaphan, W., Zendo, T., Nakayama, J., Sonomoto, K. Enterocin X, a novel two-peptide bacteriocin from *Enterococcus faecium* KU-B5, has an antibacterial spectrum entirely different from those of its component peptides. *Applied and Environmental Microbiology*, July, 76:4542-4545, 2010. doi: 10.1128/AEM.02264-09.
- [14] Diba, H., Cohan, R.A., Salimian, M. Mirjani, R., Soleimani, M., Khodabakhsh, F. Isolation and characterization of halophilic bacteria with the ability of heavy metal bioremediation and nanoparticle synthesis from Khara salt lake in Iran. *Archives of Microbiology*, September, 203:3893-3903, 2021. doi: 10.1007/s00203-021-02380-w.

- [15] Gaonkar, S.K., Furtado, I.J. Isolation and culturing of protease-and lipase-producing *Halococcus agarilyticus* GUGFAWS-3 from marine *Haliclona* sp. inhabiting the rocky intertidal region of Anjuna in Goa. *Indian Journal of Microbiology Research*, November, 68:851-861, 2018. doi: 10.1007/s13213-018-1391-6.
- [16] Siroosi, M., Borujeni, F.B., Amoozegar, M.A. Babavalian, H., Hassanshahian, M. Halophilic amylase production and purification from *Haloarcula* sp. strain D61. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, June, 11:7382-7392, 2021. doi: 10.33263/BRIAC.111.73827392.
- [17] Li, X., Yu, H.Y. Halostable cellulase with organic solvent tolerance from *Haloarcula* sp. LLSG7 and its application in bioethanol fermentation using agricultural wastes. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, December, 40:1357-1365, 2013. doi: 10.1007/s10295-013-1340-0.
- [18] DasSarma, S., Schwieterman, E.W. Early evolution of purple retinal pigments on earth and implications for exoplanet biosignatures. *International Journal of Astrobiology*, June, 20: 241-250, 2019. doi: 10.1017/S1473550418000423.
- [19] Evrensel, A., Ceylan, M.E. Fecal microbiota transplantation and its usage in neuropsychiatric disorders. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*, August, 14:231-237, 2016. doi: 10.9758/cpn.2016.14.3.231.
- [20] Czech, L., Hermann, L., Stöveken, N., Richter, A.A., Höppner, A., Smits, S.H.J, Heider, J., Bremer, E. Role of the extremolytes ectoine and hydroxyectoine as stress protectants and nutrients: genetics, phylogenomics, biochemistry, and structural analysis. *Genes (Basel)*, March, 22: 9(4):177, 2018. doi: 10.3390/genes9040177.
- [21] Hahn, M.B., Solomun, T., Wellhausen, R., Hermann, S., Seitz, H., Meyer, S., Kunte, H.J., Zeman, J., Uhlig, F., Smiatek, J., Sturm, H. Influence of the Compatible Solute Ectoine on the Local Water Structure: Implications for the Binding of the Protein G5P to DNA. *The Journal of Physical Chemistry B*, December, 10:119(49):15212-20, 2015. doi: 10.1021/acs.jpcc.5b09506.
- [22] Zaccari, G., Bagyan, I., Combet, J., Cuello, G.J., Demé, B., Fichou, Y., Gallat, F.X., Galvan, Josa V.M., von Gronau, S., Haertlein, M., Martel, A., Moulin, M., Neumann, M., Weik, M., Oesterhelt, D. Neutrons describe ectoine effects on water H-bonding and hydration around a soluble protein and a cell membrane. *Scientific reports*, August, 16: 6(1), 31434, 2016. doi: 10.1038/srep31434.
- [23] Keller, F., Heuer, A., Galla, H. J., Smiatek, J. (2021). Stabilization of DPPC lipid bilayers in the presence of co-solutes: molecular mechanisms and interaction patterns.

- Physical Chemistry Chemical Physics, October, 23(40): 22936-22946, 2021. doi: 10.1039/d1cp03052c.
- [24] Wang, Y., Zhang, L. Ectoine improves yield of biodiesel catalyzed by immobilized lipase. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, January, 62(1): 90-95, 2010. doi: 10.1016/j.molcatb.2009.09.014.
- [25] Zhang, L., Lang, Y., Wang, C., Nagata, S. Promoting effect of compatible solute ectoine on the ethanol fermentation by *Zymomonas mobilis* CICC10232. *Process Biochemistry*, June, 43(6): 642-646, 2008. doi: 10.1016/j.procbio.2008.02.003.
- [26] Avanti, C., Saluja, V., Van Streun, E.L., Frijlink, H.W., Hinrichs, W.L. Stability of lysozyme in aqueous extremolyte solutions during heat shock and accelerated thermal conditions. *PLoS One*, January, 9(1): e86244, 2014. doi: 10.1371/journal.pone.0086244.
- [27] Choi, J.K., El Assal, R., Ng, N., Ginsburg, E., Maas, R.L., Anchan, R.M., Demirci, U. Bio-inspired solute enables preservation of human oocytes using minimum volume vitrification. *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, 12(1): e142-e149, 2018. doi: 10.1002/term.2439.
- [28] El Assal, R., Guven, S., Gurkan, U.A., Gozen, I., Shafiee, H., Dalbeyber, S., Abdalla, N., Thomas, G., Fuld, W., Illigens, B.M., Estanislau, J., Khoory, J., Kaufman, R., Zylberberg, C., Lindeman, N., Wen, Q., Ghiran, I., Demirci, U. Bio-inspired cryo-ink preserves red blood cell phenotype and function during nanoliter vitrification. *Advanced materials (Deerfield Beach, Fla.)*, September, 26(33):5815-22, 2014. doi: 10.1002/adma.201400941.
- [29] Pasley, S., Zylberberg, C., Matosevic, S. Natural killer-92 cells maintain cytotoxic activity after long-term cryopreservation in novel DMSO-free media. *Immunology Letters*, December, 192, 35-41, 2017. doi: 10.1016/j.imlet.2017.09.012.
- [30] Orhan, F., Demirci, A., Efe, D., Aydın, R., Bozari, S. Usage of ectoine as a cryoprotectant for cryopreservation of lactic acid bacteria. *Folia Microbiologica*, February, 69(1): 133-144, 2024. doi: 10.1007/s12223-023-01098-0.
- [31] Cyplik, P., Piotrowska-Cyplik, A., Marecik, R., Czarny, J., Drożdżyńska, A., Chrzanowski, Ł. Biological denitrification of brine: the effect of compatible solutes on enzyme activities and fatty acid degradation. *Biodegradation*, September, 23, 663-672, 2012. doi: 10.1007/s10532-012-9542-0.
- [32] Castro-Ochoa, K.F., Vargas-Robles, H., Chánez-Paredes, S., Felipe-López, A., Cabrera-Silva, R.I., Shibayama, M., Betanzos, A., Nava, P., Galinski, E.A., Schnoor,

- M. Homoectoine Protects Against Colitis by Preventing a Claudin Switch in Epithelial Tight Junctions. *Digestive Diseases and Sciences*, February, 64(2):409-420, 2019. doi: 10.1007/s10620-018-5309-8.
- [33] Qaria, M.A., Xu, C., Hu, R., Alsubki, R.A., Ali, M.Y., Sivasamy, S., Attia, K.A., Zhu, D. Ectoine Globally Hypomethylates DNA in Skin Cells and Suppresses Cancer Proliferation. *Marine Drugs*, November, 21(12): 621. doi: 10.3390/md21120621.
- [34] Tran, B.H., Dao, V.A., Bilstein, A., Unfried, K., Shah-Hosseini, K., Mösges, R. Ectoine-containing inhalation solution versus saline inhalation solution in the treatment of acute bronchitis and acute respiratory infections: a prospective, controlled, observational study. *BioMed research international*, January, 7945091, 2019. doi: 10.1155/2019/7945091.
- [35] Dwivedi, M., Brinkkötter, M., Harishchandra, R. K., Galla, H.J. Biophysical investigations of the structure and function of the tear fluid lipid layers and the effect of ectoine. Part B: artificial lipid films. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Biomembranes*, October 1838(10): 2716-27, 2014. doi: 10.1016/j.bbamem.2014.05.007.
- [36] Unfried, K., Krämer, U., Sydlik, U., Autengruber, A., Bilstein, A., Stolz, S., Marini, A., Schikowski, T., Keymel, S., Krutmann, J. Reduction of neutrophilic lung inflammation by inhalation of the compatible solute ectoine: a randomized trial with elderly individuals. *International journal of chronic obstructive pulmonary disease*, October, 18(11), 2573-2583, 2016. doi: 10.2147/COPD.S115061.
- [37] Werkhäuser, N., Bilstein, A., Sonnemann, U. Treatment of allergic rhinitis with ectoine containing nasal spray and eye drops in comparison with azelastine containing nasal spray and eye drops or with cromoglycic acid containing nasal spray. *Journal of Allergy*, January 176597, 2014. doi: 10.1155/2014/176597.
- [38] Rieckmann, T., Gatzemeier, F., Christiansen, S., Rothkamm, K., Münscher, A. The inflammation-reducing compatible solute ectoine does not impair the cytotoxic effect of ionizing radiation on head and neck cancer cells. *Scientific reports*, April 29:9(1), 6594, 2019. doi: 10.1038/s41598-019-43040-w.
- [39] Graf, R., Anzali, S., Buenger, J., Pfluecker, F., Driller, H. The multifunctional role of ectoine as a natural cell protectant. *Clinics in Dermatology*, August, 26(4):326-33, 2008. doi: 10.1016/j.clindermatol.2008.01.002.

- [40] Lentzen, G., Schwarz, T. Extremolytes: natural compounds from extremophiles for versatile applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, October 72(4):623-34, 2006. doi: 10.1007/s00253-006-0553-9.
- [41] Yu, I., Nagaoka, M. Slowdown of water diffusion around protein in aqueous solution with ectoine. *Chemical Physics Letters*, April 388 (6-4), 316-321, 2004. doi: 10.1016/j.cplett.2004.02.104
- [42] Lee, S.R., Kim, Y.S. Effect of Ectoin a Natural Ingredient on Skin Hydration and Skin Moisture Content. *Asian Journal of Beauty and Cosmetology*, September 16(3): 437-447,2018. doi: 10.20402/ajbc.2018.0240.
- [43] Yao, C.L., Lin, Y.M., Mohamed, M.S., Chen, J.H. Inhibitory effect of ectoine on melanogenesis in B16-F0 and A2058 melanoma cell lines. *Biochemical Engineering Journal*, January 78, 163-169, 2013. doi: 10.1016/j.bej.2013.01.005.

THE IMPROVEMENT OF *Anoxybacillus gonensis* G2^T's GLUCOSE ISOMERASE BY SITE-DIRECTED MUTAGENESIS

Asst. Prof. HAKAN KARAOĞLU¹, Master's graduate OSMAN RAMOĞLU², Assoc.
Prof. DERYA EFE³

¹Recep Tayyip Erdogan University, Department of Basic Sciences, Faculty of Fisheries and Aquatic Sciences, hakan.karaoglu@erdogan.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4615-1157

²Recep Tayyip Erdogan University, Department of Basic Sciences, Faculty of Fisheries and Aquatic Sciences, osmanramoglu@gmail.com, ORCID ID:0009-0008-6139-6834

³Giresun University, Espiye Vocational School, Department of Medicinal and Aromatic Plants, mail.derya.efe@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4230-6780

ABSTRACT

In this study, the leucine at 252. position considered a critical point, was converted to arginine through the L252R mutation using the site-specific mutation method on glucose isomerase, for which all biochemical and kinetic parameters had been previously established. The biochemical and kinetic parameters of the recombinant mutant enzyme (*AgoG2GI-L252R*) were then compared to those of the wild-type enzyme (*AgoGI*).

According to the results, the optimum temperature and pH of *AgoG2GI-L252R* were 85 °C and pH 6.50. The kinetic parameters for glucose were 143.86 ± 9.58 mM and 39.48 ± 0.92 μ mol/min/mg protein for values of K_m and V_{max} , respectively. Considering that the optimal working temperature of *A. gonensis* GI is 85 °C, the optimal working pH is 6.50, and the kinetic parameters include a K_m value of 138.37 ± 7.63 mM for glucose and a V_{max} value of 40.51 ± 0.81 μ mol/min/mg protein, the conversion of the 252nd amino acid from leucine to arginine did not affect the biochemical and kinetic parameters of the enzyme. Additionally, according to the results of the thermal stability experiment conducted at 85 °C, the half-life of *A. gonensis* GI decreased from 4.9 hours to 4.23 hours. The L252R mutation impaired the thermal stability of *AgoG2GI* by 7.8 % rather than improving it. Consequently, it is planned to investigate the effects of different amino acid mutations at the 252nd position, which has been identified as significant for thermal stability.

Keywords: glucose isomerase, *A. gonensis*, thermophilic, site-directed mutation

1. INTRODUCTION

The most used sweetener today, HFCS (high fructose corn syrup), is produced by mixing glucose and fructose with various proportions. HFCS is divided into three types according to the ratio of glucose and fructose components in the mixture; *i*) HFCS-42 (58% glucose and 42% fructose), *ii*) HFCS-55 (45% glucose and 55% fructose), and *iii*) HFCS-90 (10% glucose and 90% fructose) [1].

HFCS is sweeter than both sucrose and glucose. The sweetening capacity of glucose is approximately 70% of sucrose's, on the other hand, the sweetening capacity of fructose is twice of sucrose. As a result, HFCS is produced by mixing an equal amount of glucose and fructose is sweeter 1.7 times than sucrose and 1.3 times sweeter than sucrose [2, 3]. Comparing HFCS and sucrose based on production cost, HFCS is 10-20% cheaper than sucrose. The ingredient of HFCS, D-fructose, is absorbed significantly slowly and has a slight effect on the glucose level of the blood. Therefore, HFCS is often preferred as a sweetener for individuals with diabetes [2]. HFCS offers several advantages in storage and transportation due to its low viscosity and resistance to crystallization. Additionally, HFCS helps retain moisture in foods, preventing them from drying out, enhances flavor, and is abundant in fermentable sugars [4, 5]. Due to its versatile properties, High Fructose Corn Syrup (HFCS) is widely utilized in the beverage industry, dairy products, processed foods, and a variety of cereal-based products. It is particularly common in bread, cookies, biscuits, cakes, pastries, and fillings for jellies and tarts. HFCS enhances the shelf life of these products, imparts an appealing crust color, and enriches flavor [6, 7, 8, 9]. In pickled products, it is valued for their ability to lower water activity. HFCS boosts emulsion stability and lowers the energy content in canned foods, soups, mayonnaise, and salad dressings. Additionally, in ice cream, it contributes to desirable meltability, smooth texture, increased volume, and improved viscosity regulation [10, 11].

The isomerization of glucose to fructose can be carried out via chemical reactions, however, chemical reactions produce non-specific and non-metabolizable sugars. Therefore, HFCS produced by enzymatic reactions is preferred over chemical reactions [12]. Xylose isomerase (D-xylose ketol-isomerase) (E.C 5.3.1.5) isomerizing D-xylose to D-xylulose can also isomerizes D-glucose to D-xylose *in vitro*, and is named also glucose isomerase (GI). GI, the key enzyme for HFCS production, has been studied by hundreds of researchers [13]. Enzymes have been sourced from hundreds of different origins, with their biochemical and kinetic properties extensively characterized. The three-dimensional structure of these enzymes, along with their mechanisms of action on specific substrates, has been thoroughly investigated. Additionally, protein engineering and immobilization techniques have been applied to optimize these enzymes for commercial use [3, 14, 10, 11]. Specifically, through targeted mutations using protein engineering techniques, enzymes with enhanced properties such as increased thermal stability, a lower optimum pH, and altered substrate specificity have been developed [14, 15].

In this study, an L252R mutation was introduced into the 1326 nt *xylA* gene of the thermophilic *Anoxybacillus gonensis*, previously characterized by Karaoğlu et al. (2013), targeting a highly conserved region of the amino acid sequence using a region-specific mutation method [16]. Building on this, the mutant gene encoding the glucose isomerase enzyme was cloned into an expression vector to facilitate abundant production of the

enzyme. The enzyme was subsequently purified using a variety of protein purification techniques, and its biochemical and kinetic parameters were thoroughly analyzed

2. MATERIAL and METHODS

2.1. Primer designing and performing L252 mutation in GI

Primers incorporating the desired mutation were designed and synthesized to introduce an arginine substitution at the 252nd amino acid position, based on the nucleotide sequence of *A. gonensis* GI (Figure 1, Table 1).

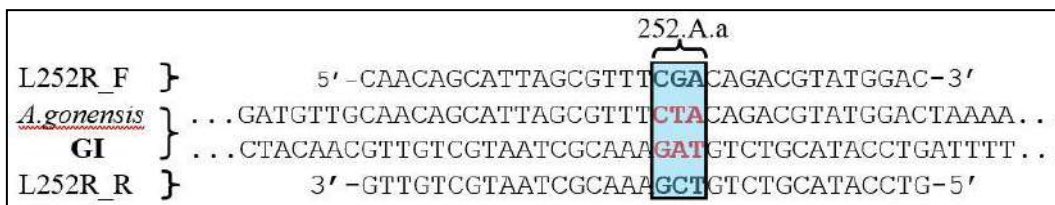


Figure 1. The gene region used in designing primers with desired mutations

Table 1. The primers used in performing L252 mutation

Mutation Primers	Oligo nükleotic sequence
L252R_F (33 nt)	5' -CAA CAG CAT TAG CGT TTC GAC AGA CGT ATG GAC -3'
L252R_R (33 nt)	5' -GTC CAT ACG TCT GTC GAA ACG CTA ATG CTG TTG -3'

GI gene of *A. gonensis* was cloned into the pET 28(a+) vector before. The recombinant plasmid (pETG2GI) was isolated from pETG2GI by GeneJet Plasmid Miniprep Kit (Thermo Scientific) according to the manufacturer's recommendations. L252R mutations were performed by PCR reaction. In the PCR reaction, pETG2GI as template DNA and the primers (Table 1) and Long PCR Kit (Thermo Scientific) were used. The PCR reaction mixture included 1 µL of L252R_F and L252R_R primers, 2.5 µL dNTP (2 mM), 2.5 µL MgCl₂ (25 mM), 5 µL 10X PCR buffer, 1 µL pETG2GI, and 1 U of DNA polymerase (Thermo Scientific Long PCR Enzyme) in 50 µL. The PCR conditions were as follows: initial denaturation at 94 °C for 2 minutes (1 cycle), followed by 37 cycles of denaturation at 94°C for 1 minute, annealing at 60°C for 1 minute, and elongation at 68 °C for 8 minutes. A final elongation step was performed at 68°C for 10 minutes, and the reaction was then held at 4°C.

2.2. PCR product digestion by DpnI restriction endonuclease and transformation of digestion product *E. coli* DH5α

The template DNA, pETG2GI, isolated from *E. coli* was methylated and had to be removed from the PCR product. Therefore, the template DNA pETG2GI was removed using the DpnI restriction endonuclease, which recognizes the GATC sequence and cuts the methylated form of adenine. The digestion reaction was performed in 50 µL of final volume at 37 °C for 2 hours. The digestion product was transformed into *E. coli* DH5α including the

recA gene by the CaCl₂ method. The bacteria were incubated at 37 °C for 16 hours on Luria Bertanie-Agar (LBA) with kanamycin. The plasmids of pETG2GI-L252R were sequenced, and confirmed by MacroGen. Mutant plasmids were isolated and transformed into *E. coli* BL21 DE3 by CaCl₂ method.

2.3. The expression and purification of mutant GI

E. coli BL21 cells containing the pETG2GI-L252R plasmid were grown to an optical density (OD₆₀₀) of approximately 0.6. Heterologous expression of the target gene was induced by adding 1 mM IPTG, and the culture was incubated for an additional 4 hours. Cells were collected by centrifugation at 12000 rpm for 5 minutes. The harvested cells were lysed using a Sartorius Labsonic M sonicator. The lysate was clarified by centrifugation at 14.800 rpm for 15 minutes to remove cell debris, and the resulting cell-free extract was assayed for glucose isomerase activity [16].

The L252R mutant GI was first exposed to heat shock at 65 °C for 10 minutes and centrifuged at 14.800 rpm for 15 minutes to remove mesophilic proteins. Ion exchange and hydrophobic interaction chromatography were subsequently carried out using a 1.5 × 50 cm column on a Bio-Rad Biologic LP System. Diethylaminoethyl (DEAE)-Sephacrose Fast Flow (Sigma) was employed as the matrix for ion exchange chromatography, while Phenyl Sepharose 6 Fast Flow (Sigma) served as the matrix for hydrophobic interaction chromatography. The purification of L252R mutant GI was performed according to the method described by Akpınar and Karaoglu (2024). To control the purity of the enzyme, sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) was performed [17].

2.4. The biochemical studies

2.4.1. Determination of GI activity and protein concentration

GI activity used in all purification, biochemical characterization, and kinetic parameter studies was performed according to the method described by Karaoglu et al. (2013) [16]. GI activity was determined using a reaction mixture comprising 10 mM MgSO₄, 1 mM CoCl₂, 0.2 M glucose, and the enzyme in 50 mM MOPS buffer (pH 6.5). The reaction was carried out at 85 °C for 30 minutes in a total volume of 100 µL. The reaction was terminated by adding 100 µL of 0.5 M perchloric acid, followed by 40 µL of 1.5% cysteine hydrochloride solution and 40 µL of 0.12% carbazole solution. Subsequently, 1.2 mL of 70% sulfuric acid was added to the mixture, which was then vortexed and incubated at room temperature for 30 minutes. The absorbance of the solution at 560 nm was measured to quantify fructose production. Fructose concentration was determined using the cysteine-carbazole-sulfuric acid method. One unit of glucose isomerase activity was defined as the amount of enzyme required to catalyze the formation of 1 µmol of fructose per minute under the described assay conditions. Protein concentrations were measured at 595 nm according to the method developed by Bradford (1976) [18].

2.4.2. Biochemical and kinetic studies

To reveal the optimum temperature, the L252R mutant GI activity was measured at 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, and 100 °C. To demonstrate that the thermal

stability of the L252R mutant GI was incubated at 65 °C and the GI activity experiments were performed as explained before. Consequently, the percentage (%) of residual activity of the L252R mutant GI was calculated at intervals and compared to the unincubated enzyme. The optimum pH value was determined by the reaction series performed at citrate buffer (pH 3.0-6.0), potassium phosphate buffer (pH 6.0-7.5), Tris-HCl buffer (pH 7.5-8.5), and glycine-NaOH buffer (pH 8.5-10.0). The percentage (%) of residual GI activity was determined by comparing it with the activity of the unincubated enzyme. The kinetic parameters of *AgoG2GI-L252R* and *AgoG2GI-rec* were determined by enzymatic reactions between 0- 400 mM D-glucose. Kinetic parameters, including V_{max} ($\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$), K_m (Michaelis-Menten constant, mM), and k_{cat} (1/s), were determined using OriginPro 9.8.2.200 software for data analysis and graphing [19].

2. RESULTS and DISCUSSION

Glucose (xylose) isomerases serve as model enzymes for investigating thermostability due to their critical role in the industrial production of HFCS from starch. The thermodynamic equilibrium between fructose and glucose shifts toward a higher fructose ratio at elevated temperatures. Commercial processes typically employ immobilized enzymes at approximately 60 °C, which represents the effective upper limit of their thermostability. At this temperature, the process yields syrups containing 45% fructose and 55% glucose. However, syrups with 55% fructose are more desirable for applications in food and beverages. Currently, these higher-fructose syrups are produced by fortifying the initial syrup with chromatographically purified fructose, an expensive additional step. This costly process could be eliminated if isomerization could be carried out at 90-95 °C, where 55% fructose syrups could theoretically be produced directly. Consequently, there is significant interest in identifying stable glucose isomerases at these elevated temperatures [20].

This study was planned to increase the thermal stability of the GI of *A. gonensis* by the L252 mutation. The mutation was successfully carried out and the mutant enzyme was overproduced in the *E. coli* BL21 strain. The produced enzyme was successfully purified by heat shock treatment, ion exchange chromatography, and hydrophobic interaction chromatography (Table 2).

Table 2. Purification of *AgoG2GI-L252R*

Steps	Volume (mL)	Protein (mg/mL)	T. Protein (mg)	T. Aktivite (U)	S. Activity (U/mg)	Yield	Purification Fold
CE	3.30	4.23	13.96	16.83	1.21	100.0	1.00
Sıcak Şoku	3.23	2.29	7.40	16.47	2.23	97.9	1.85
I.E.C.C.	9.60	0.14	1.34	11.05	8.22	67.1	6.82
Hydrophobic C.C.	7.27	0.098	0.71	6.54	9.18	38.9	7.62

As a result of optimum temperature and pH studies, the optimum working temperature of the purified enzyme was found to be 85 °C and the optimum working pH was found to be 6.5 (Figure 2 and Figure 3).

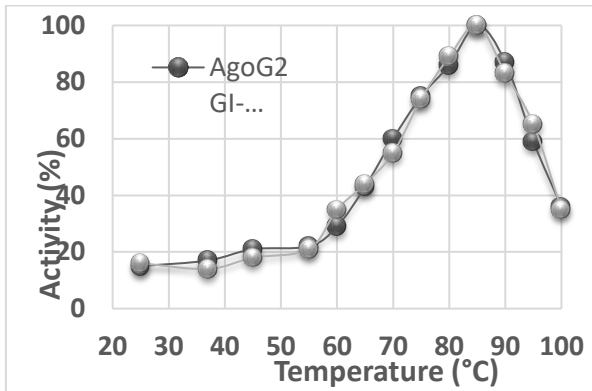


Figure 3. The effect of pH on *AgoG2GI* and *AgoG2GI-L252R*

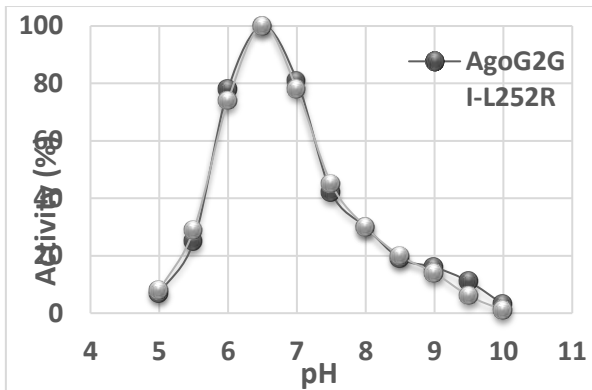


Figure 2. The effect of temperature on *AgoG2GI* and *AgoG2GI-L252R*

As a result of the applications carried out at 85°C to increase the thermal stability, which is the main target of the study, it was determined that the mutation did not increase the thermal stability of *AgoG2GI*, and even the half-life of the enzyme decreased by 7.8 % as a result of the applications carried out at 85 °C (Figure 4). The K_m value of the mutant enzyme for glucose was calculated as 143.86 ± 9.58 mM and the V_{max} value as 39.48 ± 0.92 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ protein (Figure 5).

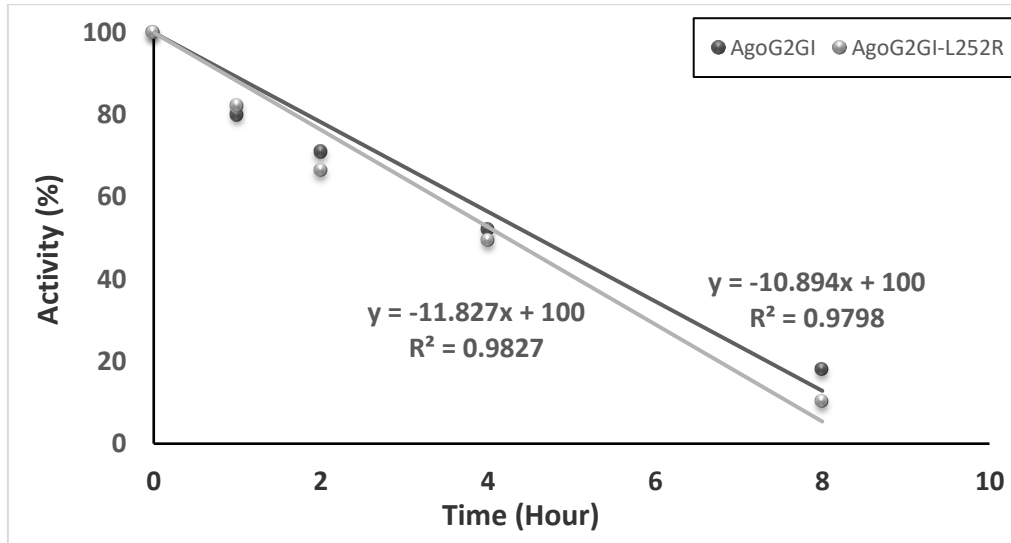


Figure 4. The effect of L252R mutation on thermal stability of *AgoG2GI* and *AgoG2GI-L252R* at 85 °C

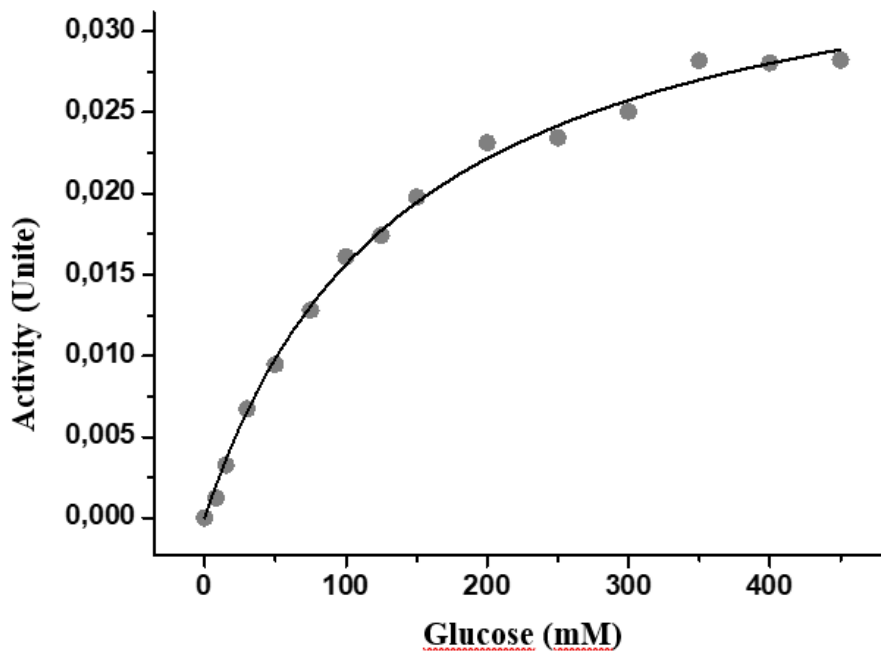


Figure 5. Michaelis-Menten Plot of the *AgoG2GI-L252R*

Comparison with the wild-type *AgoG2GI* revealed that the L252R mutation did not significantly alter the biochemical or kinetic parameters of the enzyme. In conclusion, the L252R mutation did not achieve the intended increase in the thermal stability of *AgoG2GI*. On the other hand, the enzyme's half-life decreased by 7.8% after L252R mutation.

4. CONCLUSION

Applications conducted at 85°C revealed a 7.8 % decrease in the enzyme's half-life, indicating that Leucine at position 252 plays a role in the thermal stability of the enzyme. To further investigate potential enhancements in thermal stability, mutations such as L252K and L252H (positively charged amino acids), L252D and the L252E (negatively charged amino acids), or L252I and L252V (hydrophobic amino acids with branched side chains similar to leucine) could be introduced at this position.

REFERENCE

- [1] Neifar, S., Hlima, H. B., Mhiri, S., Mezghani, M., Bouacem, K., Ibrahim, A. H. Jaouadi, B., Bouanane-Darenfed, A. ve Bejar, S. A novel thermostable and efficient Class II glucose isomerase from the thermophilic *Caldicoprobacter algeriensis*: Biochemical characterization, molecular investigation, and application in High Fructose Syrup production, *International Journal of Biological Macromolecules*, May, 129, 31-40, 2019. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.01.150.
- [2] Yanmış, D., Karaoğlu, H., Çolak, D. N., Şal, F. A., Çanakçı, S., Beldüz, A. O. Characterization of a novel xylose isomerase from *Anoxybacillus gonensis* G2^T, *Turkish Journal of Biology*, September, 38, 5, 586-592, 2014. doi: 10.3906/biy-1403-76.
- [3] Bhosale, S. H., Rao, M. B., Deshpande, V. V. Molecular and industrial aspects of glucose isomerase. *Microbiology Reviews*, June, 60(2):280-300, 1996. doi: 10.1128/mr.60.2.280-300.1996.
- [4] Nam, K.H. Glucose Isomerase: Functions, Structures, and Applications. *Applied Sciences*, January, 12(1): 428, 2022. doi: 10.3390/app12010428.
- [5] Dai, C., Miao, T., Hai, J., Xiao, Y., Li, Y., Zhao, J., Qiu, H., Xu, B. A. Novel Glucose Isomerase from *Caldicellulosiruptor bescii* with Great Potentials in the Production of High-Fructose Corn Syrup. *Biomed Research International*, April, 13, 1871934, 2020. doi: 10.1155/2020/1871934.
- [6] Dana, H., Sonia, A. Substituting Sugar in Pastry and Bakery Products with Functional Ingredients. *Applied Sciences*, September, 14, 8563, 2024. doi: 10.3390/app14188563.
- [7] Hobbs, L. Sweeteners from Starch: Production, Properties, and Uses. In *Food Science and Technology, Starch (Third Edition)*, Academic Press, 797-832, 2009. doi: 10.1016/B978-0-12-746275-2.00021-5.
- [8] Geng, X., Li Y., Wang, R., Jiang, S., Liang, Y., Li, T., Li, C., Tao, J., Li, Z. Enhanced High-Fructose Corn Syrup Production: Immobilizing *Serratia marcescens* Glucose

- Isomerase on MOF (Co)-525 Reduces Co^{2+} Dependency in Glucose Isomerization to Fructose. *Foods*, February, 13(4):527, 2024. doi: 10.3390/foods13040527.
- [9] Manohar, R.S., Rao, P.H. Effects of sugars on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, March, 75, 383-390.1997. doi: 10.1002/(SICI)1097-0010(199711)75:3<383::AID-JSFA891>3.0.CO;2-H.
- [10] Zargaraan, A., Kamaliroosta, L., Yaghoubi, A.S., Mirmoghtadaie, L. Effect of Substitution of Sugar by High Fructose Corn Syrup on the Physicochemical Properties of Bakery and Dairy Products: A Review. *Nutrition and Food Sciences Research*, October, 3, 3-11, 2016. doi: 10.18869/acadpub.nfsr.3.4.3.
- [11] Sahin, A.W., Zannini, E., Coffey, A., Arendt, E.K. Sugar reduction in bakery products: Current strategies and sourdough technology as a potential novel approach. *Food Research International*, December, 126, 108583, 2019. doi 10.1016/j.foodres.2019.108583.
- [12] Khattab, S.M.R., Kodaki, T. A Novel Production Method for High-Fructose Glucose Syrup from Sucrose-Containing Biomass by a Newly Isolated Strain of Osmotolerant *Meyerozyma guilliermondii*. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, December, 26(4), 675-683. 2016. doi: 10.4014/jmb.1510.10091
- [13] Singh R, Kumar M, Mittal A, Mehta PK. Microbial enzymes: industrial progress in 21st century. *3 Biotech*, December, 6(2), 1742016 . 2016. doi: 10.1007/s13205-016-04858.
- [14] Quax, W. J., N. T. Mrabet, R. G. Luiten, P. W. Schuurhuizen, P. Stanssens, and I. Lasters. Enhancing the thermostability of glucose isomerase by protein engineering. *Biotechnology*, August, 9(8), 738-742.1991. doi: 10.1038/nbt0891-738.
- [15] Sancho, J. Protein Engineering: The Present and the Future. *Biophysica*, March, 2, 111-112, 2022. doi:10.3390/biophysica2020011.
- [16] Karaoglu, H., Yanmis, D., Sal, F. A., Celik, A., Canakci, S., Belduz, A. O. Biochemical characterization of a novel glucose isomerase from *Anoxybacillus gonensis* G2T that displays a high level of activity and thermal stability. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, December, 97, 215- 224, 2013. doi: 10.1016/j.molcatb.2013.08.019.

- [17] Akpınar Z, Karaoğlu H. Characterization of a highly thermostable recombinant xylanase from *Anoxybacillus ayderensis*. *Protein Expression and Purification*, July, 219, 106478, 2024. doi: 10.1016/j.pep.2024.106478.
- [18] Bradford, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding, *May*, 72(1-2), 248 – 2547, 1976. doi: 10.1016/0003-2697(76)90527-3.
- [19] <https://www.originlab.com/index.aspx?go=SUPPORT&pid=3325>. OriginPro, Origin Pro Version v.9.8.2.200, OriginLab Corporation, 2023. (Accessed 11 November 2023).
- [20] Hartley, B. S., Hanlon, N., Jackson, R. J., Rangarajan, M. Glucose isomerase: Insights into protein engineering for increased thermostability. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)*, December, 29;1543(2):294-335, 2000. doi: 10.1016/s0167-4838(00)00246-6.
- [21] Dokuzparmak, C., Colak, A., Kolcuoğlu, Y. Akatin M. Y., Ertunga, N. Y., Tuncay, F. O. Development of Some Properties of a Thermophilic Recombinant Glucose Isomerase by Mutation. *Applied Biochemistry and Microbiology*, March, 56, 164-172, 2020. doi:10.1134/S0003683820020052.

***Bacillus subtilis*'in *dacA*, *pbuE* ve *nasA* NAKAVT MUTANLARI VANKOMİSİN
ANTİBOTİĞİNE KARŞI DİRENÇLİDİR**

Yüksek Lisans Öğrencisi

Tuğçe KELHASANOĞLU

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, Muğla, Türkiye

tugcelhasanoglu@posta.mu.edu.tr

ORCID: 0009-0009-3044-1273

Dr. Öğr. Üyesi Esra DİBEK

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Köyceğiz Sağlık
Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Eczane
Hizmetleri Bölümü, Muğla, Türkiye

esradibek@gmail.com

ORCID:0000-0002-8110-5466

Yüksek Lisans Öğrencisi

Çisem YILMAZ

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, Muğla, Türkiye

cisemyilmaz@posta.mu.edu.tr

ORCID: 0009-0004-1380-8161

Dr. Anara Babayeva

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, Muğla, Türkiye

anara.babazade@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6797-3366

Doç.Dr. Bekir ÇÖL.

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi,
Biyoloji Bölümü, Muğla, Türkiye

ÖZET

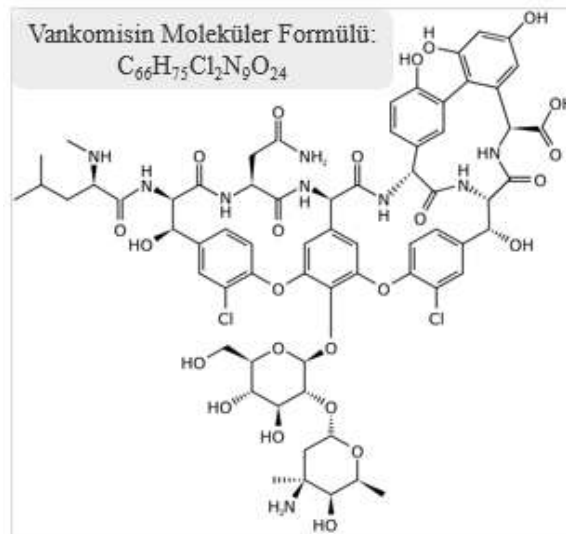
Son yıllarda, antibiyotiklerin bilinçsiz kullanılması dahil, bazı nedenlerden dolayı, bakteriler antibiyotiklere karşı direnç geliştirmektedir. Bu yüzden antibiyotik direnci ile ilgili moleküler çalışmaların önemi daha da artmıştır. Bu antibiyotiklerden bir tanesi vankomisin antibiyotığıdır ve hücre duvarı sentezini inhibe ederek, antibakteriyel etki göstermektedir. Vankomisin, glikopeptit yapıda bir antibiyotik olup, tıbbi olarak bazı gram pozitif patojenlerle mücadelede ve enfeksiyonların tedavisinde son derece önemlidir. Vankomisin, hücre duvarındaki peptit zincirlerinin ucundaki D-alanil-D-alanin kalıntısına bağlanarak, N-asetilmuramik asit (NAM) ile N-asetilglukozamin (NAG)'in çapraz bağ oluşturmasını önlemekte ve böylece hücre duvarını zayıflatarak, bakterilerin ölmesine neden olmaktadır. Ancak son yıllarda, bazı patojen bakterilerin, vankomisine karşı direnç geliştirdiği görülmektedir. Dolayısıyla vankomisin direnci ile ilgili genlerin ve moleküler mekanizmaların araştırılması gerekli ve değerlidir. Bu çalışmada, gram pozitif model bakteri olan *Bacillus subtilis*'in, vankomisine karşı direnç mekanizmasında, doğrudan veya dolaylı görev alabilecek, gen adayları araştırılmıştır. Bunun için, BKE genom boyu mutant hattından, 96 mutant seçilmiş ve artan konsantrasyonlarda vankomisin ortamında büyüme durumları analiz edilmiştir. 0, 0.2, 0.3, 0.45 ve 0.6 µg/ml olmak üzere, 5 farklı konsantrasyonda vankomisin antibiyotığı ile BKE kütüphanesinin bir plakası taranmış ve 96 mutant suş arasından, 4 mutant suşun en yüksek vankomisin konsantrasyonunda bile (0.6 µg/ml) ürediği, yani vankomisin antibiyotığına yüksek seviyede dirençli olduğu görülmüştür. Tarama sonrasında yapılan gradyan petri spot analizi ile 4 mutanttan, 3 tanesinin 0.6 µg/ml vankomisin içeren besi yeri ortamında ürediği onaylanmıştır. Vankomisine direnç gösteren bu 3 mutant suş (*AdacA*, *PbuE*, *NasA*) ile ilgili literatür taraması yapılmış ve ilgili genlerin kodladıkları proteinler ile bilgiler analiz edilmiştir. *DacA*, D-alanin-D-alanil-karboksipeptitaz aktivitesine sahip penisilin bağlayıcı bir protein olup, vankomisin direnci ile ilişkisi literatürde mevcuttur. *PbuE*, nükleotid metabolizmasında yer alan bir hipoksantin taşıyıcısıdır ve *NasA* ise nitrat alımında rol oynayan taşıyıcı bir proteindir. Bu çalışma ile *PbuE* ve *NasA* proteinleri ile vankomisin direnci arasındaki potansiyel bağlantı ilk kez önerilmiştir.

DacA, PbuE ve NasA ile vankomisin direnci arasındaki ilişki mevcut literatür eşliğinde tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Vankomisin direnci, *Bacillus subtilis*, DacA, PbuE, NasA, BKE mutant hattı.

1. GİRİŞ

Antimikrobiyal ilaçların hücre duvarı sentezi inhibitörü sınıfında yer alan vankomisin, *Streptomyces orientalis*'ten izole edilen 1456 dalton moleküler ağırlığa sahip bir glikopeptit antibiyotiktir (Görsel 1). Vankomisin, peptit zincirinin ucundaki D-alanil ve D-alanin kalıntısına bağlanarak N-asetilmuramik asit (NAM) ile N-asetilglukozamin (NAG)'in çapraz bağ oluşturmasını önler ve böylece bakteriyal hücre duvarı zayıflar, hücre içi bileşenlerin sızmasıyla bakteriyal hücre ölümü gerçekleşir. Vankomisin dirençli bakterilerde ise D-alanil ve D-alanin kalıntısı yerine D-laktat bulunur ve vankomisin bağlanamaz, böylece hücre duvarındaki çapraz bağların başarılı sentezi ile direnç kazanılır. Vankomisin hedefi olan gram pozitif bakteriler arasında *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecium* ve *Clostridium difficile* gibi klinik açıdan önemli patojenler bulunur. Ayrıca penisilin gibi beta-laktam antibiyotiklerine dirençli, metisilin dirençli *S. aureus* (MRSA) enfeksiyonlarında kullanımı tercih edilen 'son çare' antibiyotikler arasında yer almaktadır. Fakat zamanla vankomisine direnç kazanan *S. aureus* (VRSA ve VISA) ve diğer gram pozitif bakterilerin direnç mekanizmaları çalışılmış olsa da bu mekanizma *Bacillus subtilis*'te hala belirsizdir (1) (2).



Görsel 1. Vankomisin antibiyotiğinin moleküler yapısı ve kimyasal formülü

Ferdinand Cohn tarafından tanımlanan *Bacillus subtilis* bakterisi hayvanların sindirim sistemi, toprak ve bitki gibi farklı ortamlarda bulunan, çubuk şekline sahip bir bakteridir. *Bacillus subtilis*'in farklı sıcaklık, sınırlı besin kaynağı olan ortam, toksik bileşikler gibi çeşitli çevresel stres faktörlerine karşı dayanıklılığı onun hayatta kalma stratejisi ile ilgili bilgileri açığa çıkartmaktadır. Tüm bunların yanı sıra *B. subtilis*'in probiyotik türü olması ile bağışıklık sistemini olumlu yönde etkilediği bilinmekte ayrıca; enzimatik yeteneğe sahip olmasıyla tarımsal ve gıda atıklarını, petrol atıklarını parçalayıp biyoremediasyon sürecine katkı sağlamaktadır (3).

Bacillus subtilis'in vankomisin direnç mekanizmasının belirsiz olması ve bu direnci nasıl kazandığını anlamak için BKE (Bacillus Knockout Eritromicin) mutant kütüphanesinden yararlanmak çalışmamızın önemini yansıtmaktadır. Bacillus Knockout Eritromicin (BKE) mutant koleksiyonunda, homolog rekombinasyon yöntemi kullanılarak, esansiyel olmayan genlerden birine eritromisin direnç kaseti yerleştirilmiş ve gen delesyona uğratılmıştır. Delesyona uğratılan, yaklaşık 4000 farklı mutant suş 45 farklı plate'de yer almaktadır. Her bir plate'de yer alan mutant suşların lokasyonları ve isimleri listeler halinde elimizde bulunmaktadır (4).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (veya UYGULAMALAR)

2.1. Model Bakteri Olan *Bacillus subtilis* ve Mutant Suşlar

Gerçekleştirilen çalışmada genetik olarak değiştirilmemiş ve mutasyona uğratılmamış olan *Bacillus subtilis* 168 suşu yabancıl tip suş olarak kullanılmış ve bununla birlikte Bacillus Knockout Eritromicin (BKE) nakavt koleksiyonundan 96 adet *Bacillus subtilis* mutant suşlar kullanılmıştır. Esansiyel olmayan gen açısından mutant olan ve her bir mutant suşun adı ile birlikte lokasyonunu içeren plaka Görsel 2.'de verilmiştir. BKE koleksiyonunda homolog rekombinasyon temelli nakavt yöntemi ile genler delesyona uğratılmış ve genlerin yerine eritromisin direnç kaseti eklenmiştir. BKE koleksiyonunda yer alan mutant suşların

eritromisine karşı dirençli olmasından dolayı suşlar eritromisin içeren besi ortamında büyüyebilirler (4).

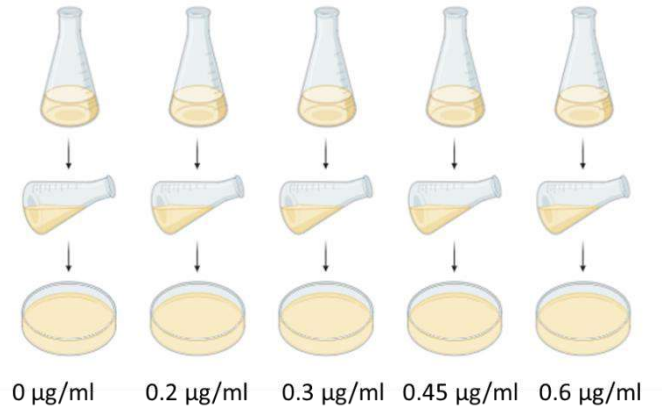
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	BKE00100	BKE38640	BKE01660	BKE01960	BKE02640	BKE02760	BKE02980	BKE03380	BKE03810	BKE04480	BKE05420	BKE06400
	dacA	yxIH	ybbD	skfF	tatCD	natB	opuAA	yckB	yclO	ydbl	ydfI	yebE
B	BKE00490	BKE01460	BKE01670	BKE02010	BKE02670	BKE02780	BKE02990	BKE03520	BKE03820	BKE04490	BKE05430	BKE06570
	spoVG	ybaE	ybbE	ybdK	lmrB	ycaA	opuAB	srfAD	yclP	ydbJ	ydfJ	yerB
C	BKE38540	BKE01530	BKE01700	BKE02250	BKE02690	BKE02810	BKE03000	BKE03530	BKE03830	BKE04540	BKE05470	BKE06630
	dRE	cwID	murQ	ybfJ	ansZ	cwIK	opuAC	ycaA	yclQ	ydbO	ydfM	yerH
D	BKE00560	BKE01550	BKE01740	BKE02480	BKE02700	BKE02850	BKE03020	BKE03590	BKE03920		BKE05680	BKE06660
	spoVT	gerD	rsiW	gudP	estA	adcA	ycaA	tcyC	glcU		ydgK	opuE
E	BKE00570	BKE01580	BKE38660	BKE02540	BKE02710	BKE02870	BKE03070	BKE03600	BKE04140	BKE04630	BKE05710	BKE06930
	yabM	ybaR	yxIF	ycbK	yczC	adcB	mdr	tcyB	pbpC	ydcC	ydhD	yesK
F		BKE01590	BKE01880	BKE02570	BKE02720	BKE02920	BKE03110	BKE03730	BKE04270	BKE38740	BKE05800	BKE06950
		ybaS	ybcI	ycbN	yccF	yceF	ycgH	yclH	ydaJ	cydC	pbuE	yesM
G	BKE00720	BKE01630	BKE01890	BKE02600	BKE02730	BKE02950	BKE03330		BKE04320	BKE04960	BKE05950	BKE06970
	yacD	feuA	ybcL	cwIU	natK	yceI	nasA		ydaO	yddG	ydfI	yesO
H	BKE00880	BKE01650	BKE01950	BKE02630	BKE02750	BKE02960	BKE03350	BKE03800	BKE04450	BKE05190	BKE06230	BKE38770
	disA	ybbC	skfE	tatAD	natA	yceJ	yclB	yclN	dctS	ydeG	iolT	cimH

Görsel 2. Bacillus Knockout Eritromicin koleksiyonuna ait bir plate'e örnek

Görsel 2.'de belirtildiği üzere her bir kuyuda koleksiyonda yer alan mutant suşun ismi ve delesyona uğratılan genin adı yazmaktadır. Örneğin A1 lokasyonunda bulunan suşun *dacA* geni delesyona uğratılmış ve BKE00100 suşu olarak isimlendirilen bir suştur. Ayrıca bu suşa kısaca $\Delta dacA$ mutant suşu denilmektedir (4).

2.2. Besi yerlerinin Hazırlanması:

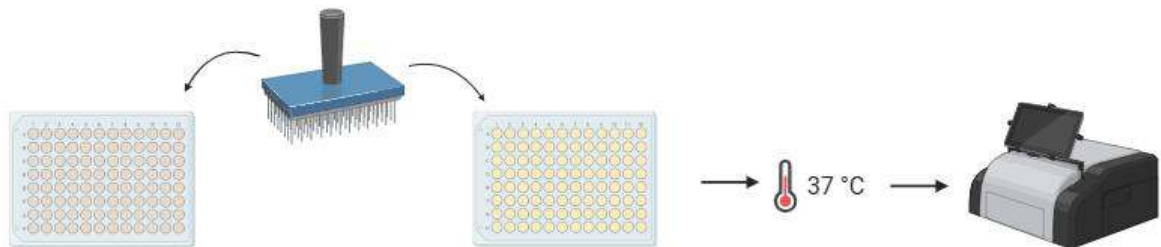
Bacillus subtilis mutant suşlarının büyümelerini değerlendirmek amacıyla ön çalışma gerçekleştirilmiş ve 6 farklı vankomisin konsantrasyonunda tarama yapılmıştır. Tarama sonrasında konsantrasyon optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve mutant suşlarının büyümelerini değerlendirmek amacıyla vankomisin antibiyotiğini içermeyen (0 µg/ml- kontrol); 0.2 µg/ml, 0.3 µg/ml, 0.45 µg/ml ve 0.6 µg/ml vankomisin içeren olmak üzere 5 farklı konsantrasyona sahip LB (Luria Bertani)-Lennox-Agar besi yeri hazırlanmıştır. Besi yeri uygun sıcaklığa geldiğinde antibiyotik eklenip 40 ml'lik plastik petrilere aktarılmıştır. Buradaki amaç, vankomisine karşı dirençli ve duyarlı suşların belirlenmesidir. Bunun için uygun vankomisin konsantrasyonları belirlendi ve besi yerleri hazırlandı (Görsel 3).



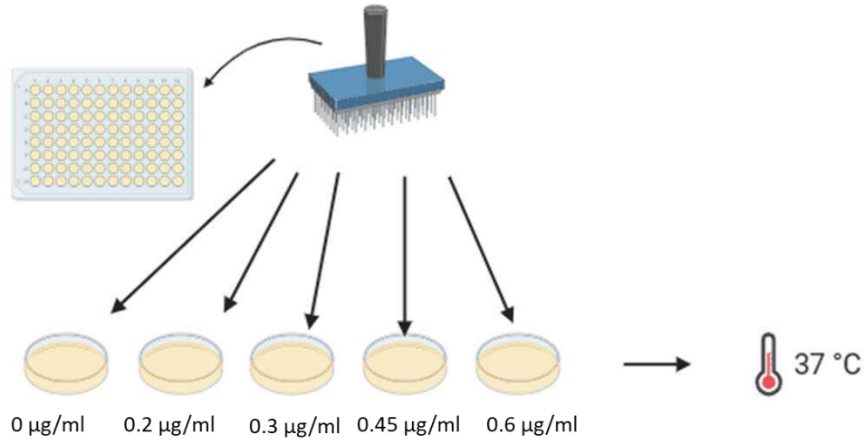
Görsel 3. Farklı vankomisin konsantrasyonlarına sahip besi yerlerinin hazırlanması

2.3.Mutant Suşların Canlandırılması ve Katı Besi Ortamına Ekimi

Suşların canlandırılması için hazırlanan LB (Luria Bertani)-Lennox-Erm (Eritromicin) sıvı besiyeri, her bir kuyuya 200 µl olacak görsel de dağıtıldı. -80°C’de, 96 kuyulu mikropalakada bulunan stok suşlar, canlandırılmak amacıyla replikatör kullanılarak LB-Lennox-Erm sıvı besi yeri içeren mikropalakaya ekildi. 37°C etüvde gece boyu inkübasyona bırakıldı ve diğer gün mikropalaka okuyucu ile 600_{nm}’de OD değerleri ölçüldü (Görsel 4) (Görsel 7). Bu sayede mutant suşların ürediği kontrol edilmiş ve hücrelerin yoğunluğu tespit edilmiştir. Ölçümü yapılan mutant suşların antibiyotiksiz ve 0.2 µg/ml, 0.3 µg/ml, 0.45 µg/ml ve 0.6 µg/ml konsantrasyonlarında vankomisin içeren besi yerlerine replikatör kullanılarak ekim yapılmıştır. Ekim yapılan petriler 37°C etüvde inkübasyona bırakılmış ve mutant suşların büyüme durumları iki gün gözlenmiştir (Görsel 5).



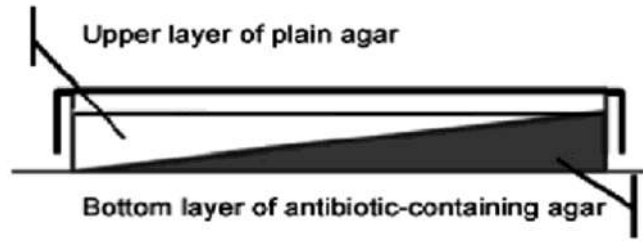
Görsel 4. Stok mutant suşların sıvı besiyerinde canlandırılması ve hücre yoğunluklarının ölçümü



Görsel 5. Gece boyu büyütülen mutant suşların replikatör ile katı besi yerlerine ekimi

2.4.Gradient Petri Nokta Testi ile Onaylama Çalışması

Mutant suşların 5 farklı antibiyotik konsantrasyonlarında büyüme durumları değerlendirildikten sonra kontrol suş olan *B. subtilis 168*'e kıyasla daha yüksek seviyede direnç gösteren mutant suşlar belirlenmiştir. Belirlenen vankomisin dirençli suşları onaylamak amacıyla; dirençli seçilen suşların ve kontrol olarak seçilen diğer suşların gradient petri spot analizi yapılmıştır. 35 ml antibiyotiksiz ve 35 ml 0.6 µg/ml konsantrasyonuna sahip antibiyotikli besi yeri hazırlandı, kare petriye %3 eğim verilerek önce antibiyotiksiz besiyeri dökülmüş ve donduktan hemen sonra petri düz zemin üzerine alınıp antibiyotikli besiyeri dökülmüştür. Petriye eğim verilerek besi yerinin dökülmesi sonucu antibiyotik konsantrasyonunun, petrinin bir ucunda 0 µg/ml olmasını, diğer uca ise 0.6 µg/ml olması sağlanmıştır (Görsel 6). Böylece seçilen suşlar tek bir petride bir uçtan diğer uca artan antibiyotik konsantrasyonunda analiz edildi ve suşların dirençlilik seviyeleri de karşılaştırıldı. Seçilen suşların 5 ml LB-Lennox-Erm'li sıvı besi yerine ekimi yapılarak gece boyu 37°C'de çalkalamalı inkübatörde büyümeye bırakıldı. Diğer gün O/N büyütülen suşlar OD: 0.1 olacak görsel de 3 ml LB-Lennox-Erm'li sıvı besiyerine ekildi ve OD: 0.5 olana kadar büyütüldü, ardından 1x PBS ile 1/2 dilüsyona uğrattıldı. Çok kanallı pipet kullanılarak gradient petriye dilüe edilen mutant suşların 2'şer µl ekimi yapıldı ve 37°C etüve gece boyu inkübasyona bırakıldı.



Görsel 6. Kare petride antibiyotik gradienti oluşturulmasına örnek

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

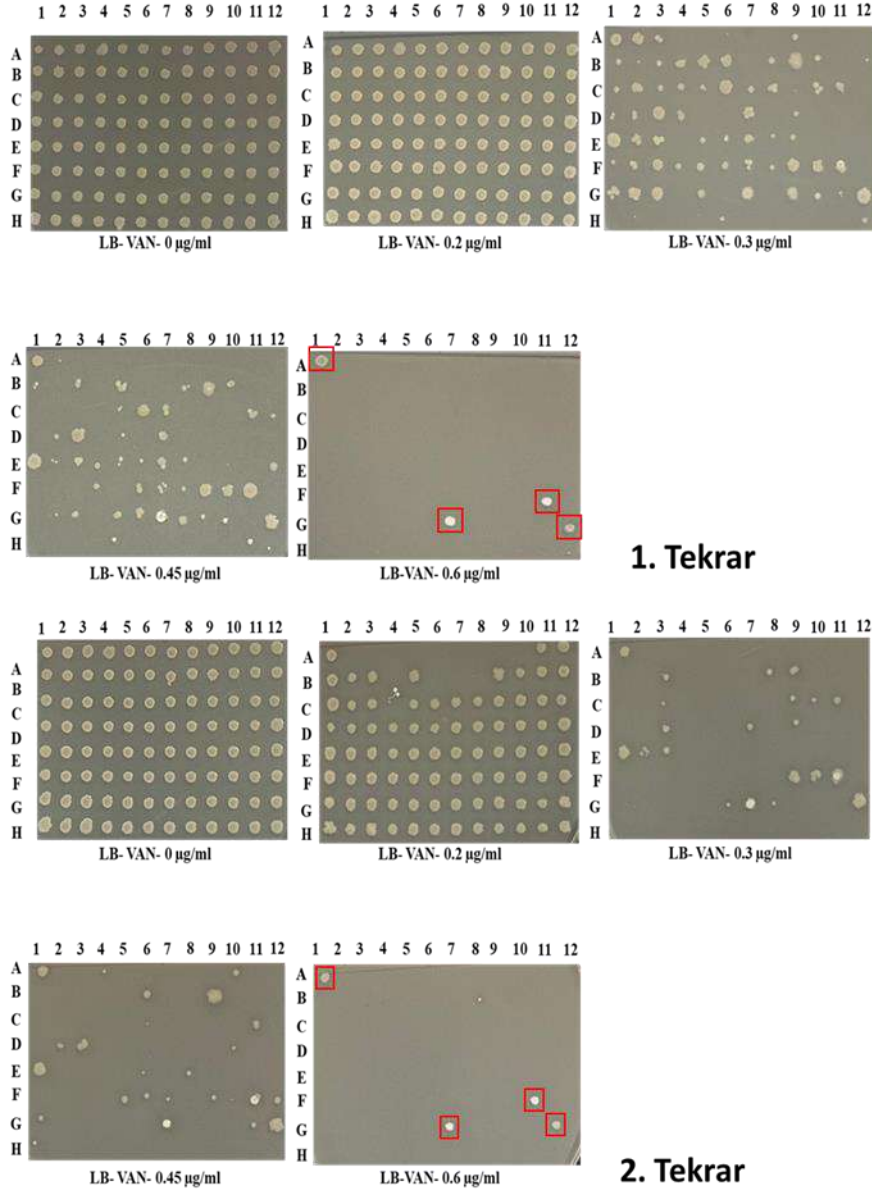
Gerçekleştirilen çalışmada *Bacillus subtilis* bakterisine ait 96 mutant suş ile birlikte yabancı tip suş *Bacillus subtilis* 168 kullanılmıştır. 96 mutant suşun her birinde farklı gen delesyonu bulunmaktadır. Vankomisinli besi ortamında 96 mutant suşun duyarlı veya dirençli fenotipleri gözlenmiştir. Deneysel süreçte seçilen plate’de yer alan 96 farklı mutant suş gece boyunca yetiştirilmiş ve inkübasyon sonrası OD 600_{nm}’de mikropilaka okuyucu ile hücre yoğunlukları ölçülmüştür. OD 600_{nm}’de hücre yoğunlukları ölçüm sonucu Görsel 7.’de yer almaktadır.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	0,21	0,246	0,206	0,243	0,187	0,197	0,197	0,218	0,249	0,212	0,216	0,213
B	0,195	0,396	0,452	0,519	0,536	0,739	0,449	0,479	0,65	0,566	0,542	0,215
C	0,259	0,399	0,47	0,735	0,499	0,813	0,498	0,529	0,509	0,467	0,67	0,243
D	0,244	0,434	0,831	0,388	0,477	0,487	0,656	0,468	0,426	0,406	0,418	0,304
E	0,298	0,439	0,325	0,48	0,514	0,641	0,618	0,47	0,421	0,511	0,464	0,263
F	0,235	0,51	0,46	0,516	0,405	0,489	0,438	0,38	0,575	0,376	0,443	0,217
G	0,219	0,438	0,5	0,38	0,715	0,671	0,493	0,627	0,541	0,437	0,418	0,271
H	0,175	0,258	0,224	0,199	0,203	0,214	0,217	0,228	0,232	0,228	0,196	0,205

Görsel 7. Gece boyu büyütülen bakterilerin yoğunlukları ve OD600_{nm} değerleri

3.1. TARAMA SONUCU

Deneysel süreçte BKE kütüphanesinin seçilen bir plakası 0 µg/ml, 0.2 µg/ml, 0.3 µg/ml, 0.45 µg/ml ve 0.6 µg/ml konsantrasyonlarında vankomisin içeren besi yerlerine ekimi yapılarak 96 mutant suşun büyüme durumları incelenmiştir. Artan vankomisin konsantrasyonunda taranan 96 mutant suş arasında A1, F11, G7 ve G12 lokasyonlarına sahip olan 4 suşun, her iki tekrarda da en yüksek vankomisin konsantrasyonunda (0.6 µg/ml) ürediği görülmüştür (Görsel 8).



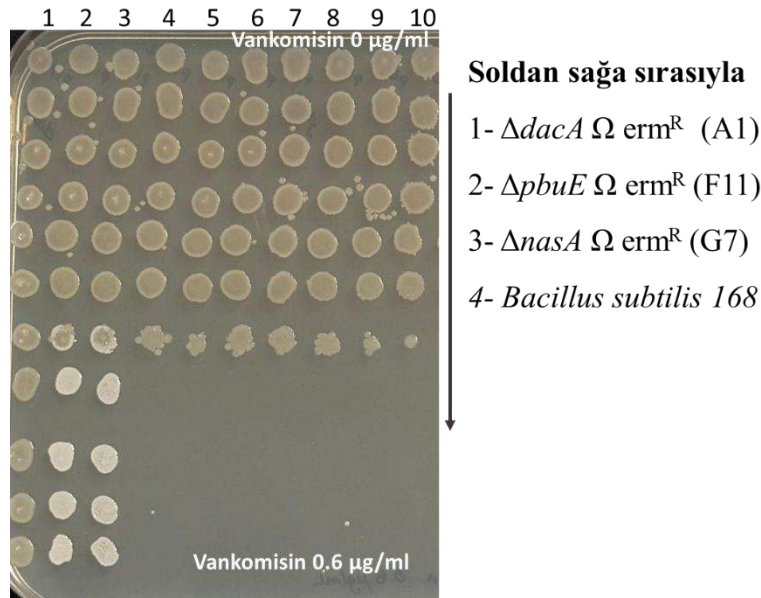
Görsel 8. Mutant suşların farklı vankomisin konsantrasyonu içeren LB-lennox katı besi yerlerinde büyüme durumları

Gece boyu büyütülen mutant suşların büyümeleri gözle görülmektedir ve petriplerdeki büyüme durumları fotoğrafları çekilerek ile görsel haline getirilmiştir. Yuvarlak petriplerin resimleri düzenlenerek dikdörtgen haline getirilmiş ve mikroplate lokasyonlarında yer aldığı gibi düzenlenmiştir. Her bir resimde artan vankomisin konsantrasyonunda mutantların büyüme durumları gözlenmektedir. Örneğin 0.6 µg/ml vankomisin bulunan besi ortamına bakıldığında çok sayıda mutant suş ölmüşken 4 tane mutant suşun her iki tekrarda da büyüdüğü gözlenmiştir. Büyüyen suşların lokasyon listesinden adlarına bakılmış ve hangi mutant oldukları

belirlenmiştir. A1 lokasyonunda $\Delta dacA$ mutan, F11 lokasyonunda $\Delta pbuE$ mutan, G7 lokasyonunda $\Delta nasA$ mutan ve G12 lokasyonunda $\Delta yesO$ mutanın yer aldığı tespit edilmiştir.

3.2. Gradient Petri Spot Testi Sonucu

Tarama sonucunda göreceli olarak dirençli kabul edilen 4 mutan suşun onaylama çalışması için ayrıca gradient petride spot testi yapılmıştır. Yapılan gradyan petri spot analizi ile 4 mutanttan, 3 tanesinin 0.6 µg/ml vankomisin içeren besi yeri ortamında ürettiği onaylanmıştır. $\Delta dacA$, $\Delta pbuE$, $\Delta nasA$ mutan suşlarının, kontrol suş olan *Bacillus subtilis 168*'e kıyasla 0.6 µg/ml vankomisine yüksek seviyede dirençli olduğu görülmüştür (Görsel 9).



Görsel 9. *Bacillus subtilis 168* yabancı tip suşu ve mutan suşların vankomisin ortamında üremesinin gradient petri spot testi ile onaylama çalışması

Materyal ve metot bölümünde anlatıldığı gibi, OD 0,5 yoğunluğa getirilen hücrelerin, 1/2-dilüsyona uğratılması ve bir uçtan diğer uca artan vankomisin içeren katı besi ortamına 2'şer µl ekimi yapılmıştır. Gece boyu inkübe edildikten sonra petri fotoğrafı çekilmiş ve düzenlenmiştir. Mutan suşların adları ekim sırasına göre fotoğrafın yanına eklenmiştir. Fotoğrafın yanında bulunan ok işareti, vankomisin konsantrasyonunun yukarıdan aşağıya doğru arttığını ifade etmektedir. Gradient petri spot analizi sonucu suşların büyüme durumlarına göre yıldız tablosu

oluşturulmuştur. Çizelge 1'deki 5 yıldız iyi üremeyi gösterirken, eksi işareti ise üreme olmadığını göstermektedir.

Çizelge 1. Gradient petri spot analizi sonucu suşların büyüme durumlarını gösteren yıldız tablosu

Suş Adı	0 µg/ml	0.2 µg/ml	0.3 µg/ml	0.45 µg/ml	0.6 µg/ml
<i>Bacillus subtilis 168</i>	*****	*****	*****	-----	-----
<i>ΔdacA::erm</i>	*****	*****	*****	*****	*****
<i>ΔpbuE::erm</i>	*****	*****	*****	*****	*****
<i>ΔnasA::erm</i>	*****	*****	*****	*****	*****
<i>ΔyesO::erm</i>	*****	*****	*****	-----	-----

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Vankomisin antibiyotiğine dirençli fenotip profilleri onaylanan 3 mutant suş (*ΔdacA*, *ΔpbuE*, *ΔnasA*) ile ilgili literatür taraması yapılmış ve ilgili genlerin kodladıkları proteinler ile bilgiler analiz edilmiştir.

DacA, 1332 bp gen büyüklüğüne sahip olduğu ve önünde 5'UTR bölgesinin bulunduğu görülmektedir. UTR (Untranslated Region), kodlanmayan bölge anlamına gelmektedir ve başlangıç kodonu olarak bilinen AUG'den hemen önce yer almaktadır. D-alanin-D-alanil-karboksipeptidaz aktivitesine sahip olan *dacA* penisilin bağlayıcı bir proteindir. Karboksipeptidaz enzimi, peptidoglikan zincirin ucunda bulunan D-alanin-D-alanil bağlarını hedefleyerek zincirindeki D-alanin kalıntılarını uzaklaştırır. Böylece peptidoglikan bağının çapraz bağlanması gerçekleşir. *DacA*'nın sahip olduğu karboksipeptidaz aktivitesi sayesinde bakteri hücre duvarı daha dayanıklı ve sert yapıda oluşur. *DacA* geninin, vankomisin direnci ile ilişkisi literatürde mevcuttur (Subtiwiki). Bu da bizim çalışmamızın doğruluğunu göstermektedir. Ayrıca iki ek genin bulunması değerlidir. Yapılan bir çalışmada, *B. subtilis* bakterisinde *dacA* geninin silinmesi (*ΔdacA*) oldukça yüksek vankomisin konsantrasyonuna karşı bakteriye direnç kazandırdığı raporlanmıştır. Bu çalışmada ek olarak bir β-laktam olan ampicillin antibiyotiği kullanılmış ve *ΔdacA* suşunun ampicilline karşı duyarlı bir fenotip sergilediği tespit edilmiştir (5).

PbuE, 1167 bp gen büyüklüğüne sahiptir ve önünde miscRNA yer almaktadır. *PbuE* geninin pürin baz efflux pompası kodladığı bilinmektedir. ATP gibi enerji kaynaklarını kullanarak aktif taşıma gerçekleştiren bu pompa hücre içerisinde aşırı seviyede bulunan pürin bazlarını hücre dışına pompalamakla görevlidir. *PbuE* geninin ifadesi, adenin tanıyan bir riboswitch tarafından

kontrol edilmektedir. Riboswitchler belirli moleküllere bağlanarak hücrenin ihtiyacına göre gen regülasyonunu düzenleyen elementlerdir. Yapılan bir çalışmada *PbuE* pompasının işlevsel olmadığı durumlarda ($\Delta pbuE$), *pbuE'*-*lacZ* füzyonu ifadesinin adenin tarafından yüksek oranda indüklendiği tespit edilmiştir. Bu da mutant *pbuE'*'nin görevini yerine getirememesinden kaynaklı olarak hücre içerisinde oldukça fazla adenin birikmesine neden olduğu ve adeninin *pbuE'* promotoruna bağlanarak aktivitesini normalden daha fazla arttırdığı anlamına gelmektedir. *PbuE* geni ile vankomisin direnci arasında bağlantıyı gösteren bir çalışma literatürde bulunmamıştır ve ilk kez bu çalışma ile gösterilmiştir (6) (7).

NasA, 1206 bp gen büyüklüğüne sahip, nitrat alımında rol oynayan taşıyıcı bir proteindir (Subtiwiki). *B.subtilis*'te *nasA* geni ve *nasB* operonu, nitrat asimilasyonunda yer alan proteinleri kodlar. Nitrat asimilasyonu, bakterinin nitrat redüktaz enzimi ile nitratı, nitrite indirgesidir ve bu indirgenme aşamaları sonucunda biyolojik olarak kullanılabilir duruma geçmiş olur. Literatürde karşılaşılan bir çalışmada *nasA* geninin yüksek azot kaynağı varlığında düşük düzeyde ifade edildiği raporlanmıştır. *NasA* geni ile vankomisin direnci arasında bağlantıyı gösteren bir çalışma literatürde bulunmamıştır ve ilk kez bu çalışma ile gösterilmiştir (8).

Yaptığımız çalışma sonucu 0.6 $\mu\text{g}'\text{ml}$ vankomisin konsantrasyonunda göreceli olarak dirençli olan 3 mutant suş tanımlanmıştır. Bu 3 mutant suş arasında bulunan $\Delta dacA$ 'nın vankomisin direnci ile ilişkisi literatürde mevcuttur. Çalışmamız sonucunda elde ettiğimiz datanın literatürde de yer almasıyla çalışmamızın ilerleyişinin uygunluğunu kanıtlamaktadır. Dirençliliği onaylanan diğer 2 mutant suşun, $\Delta pbuE$ ve $\Delta nasA$, vankomisin direnci ile ilgili bir çalışma literatürde bulunmamıştır ve ilk kez bu çalışmada gösterilmesi, çalışmamızda BKE koleksiyonunun kullanılması çalışmamızın önemini yansıtmaktadır. Mutant $\Delta pbuE$ ve $\Delta nasA$ suşlarının vankomisin ile ilişkisini anlayabilmek ve tespit edebilmek için daha fazla deneysel çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Teşekkür: Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 124Z070 numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesine teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- 1.Wanger, A., Chavez, V., Huang, R. S., Wahed, A., Actor, J. K., & Dasgupta, A. (2017). Antibiotics, antimicrobial resistance, antibiotic susceptibility testing, and therapeutic drug monitoring for selected drugs. *Microbiology and molecular diagnosis in pathology*, 119-153.
- 2.Tang, Y. W., Procop, G. W., & Persing, D. H. (1997). Molecular diagnostics of infectious diseases. *Clinical chemistry*, 43(11), 2021-2038.
- 3.Wozniak, K. J., & Simmons, L. A. (2022). Genome editing methods for *Bacillus subtilis*. In *Recombineering: Methods and Protocols* (pp. 159-174). New York, NY: Springer US.
- Akinsemolu, A. A., Onyeaka, H., Odion, S., & Adebajo, I. (2024). Exploring *Bacillus subtilis*: Ecology, biotechnological applications, and future prospects. *Journal of Basic Microbiology*, e202300614.
- 4.*Bacillus* Genetic Stock Center (BGSC) (<https://bgsc.org/new.php?page=8>)
- 5.Park, S. H., Choi, U., Ryu, S. H., Lee, H. B., Lee, J. W., & Lee, C. R. (2022). Divergent effects of peptidoglycan carboxypeptidase DacA on intrinsic β -lactam and vancomycin resistance. *Microbiology Spectrum*, 10(4), e01734-22.
- 6.Nygaard, P., & Saxild, H. H. (2005). The purine efflux pump PbuE in *Bacillus subtilis* modulates expression of the PurR and G-box (XptR) regulons by adjusting the purine base pool size. *Journal of bacteriology*, 187(2), 791-794.
- 7.Zakataeva, N. P., Gronskiy, S. V., Sheremet, A. S., Kutukova, E. A., Novikova, A. E., & Livshits, V. A. (2007). A new function for the *Bacillus* PbuE purine base efflux pump: efflux of purine nucleosides. *Research in microbiology*, 158(8-9), 659-665.
- 8.Ogawa, K. I., Akagawa, E., Yamane, K., Sun, Z. W., LaCelle, M., Zuber, P., & Nakano, M. M. (1995). The nasB operon and nasA gene are required for nitrate/nitrite assimilation in *Bacillus subtilis*. *Journal of bacteriology*, 177(5), 1409-1413.



9.Subtiwiki (<https://subtiwiki.uni-goettingen.de/v5/welcome>)

Komagataella phaffii'DE İNDÜKLENEBİLİR EKSPRESYON SİSTEMLERİ

Yüksek Lisans Öğrencisi, Bahtinur İSPAHI

Atatürk Üniversitesi, bahtinur.ispahi18@ogr.atauni.edu.tr - 0000-0002-8135-3742

Doç. Dr. Yağmur ÜNVER

Atatürk Üniversitesi, yunver@atauni.edu.tr - 0000-0003-1497-081X

ÖZET

Komagataella phaffii (*K. phaffii*), rekombinant protein üretiminde yaygın olarak kullanılan bir mayadır. Bu mayanın rekombinant protein üretimi için kullanılmasının başlıca avantajlarından biri rekombinant proteinleri kültür ortamına salgılama yeteneğidir. Ek olarak glikozilasyon ve disülfid bağı oluşumu gibi gelişmiş ökaryotlara özgü post-translasyonel modifikasyonları da yapabilmektedir. *K. phaffii* tek karbon kaynağı olarak metanol, glikoz, gliserol veya etanol içeren ortamlarda hızla büyümektedir.

K. phaffii ile rekombinant protein üretiminde genellikle metanol ile indüklenen AOX1 promotörü (P_{AOX1}) veya yapısal bir promotör olan gliseraldehit-3-fosfat dehidrogenaz promotörü (P_{GAP}) kullanılmaktadır. *K. phaffii*, tek karbon kaynağı olarak metanolde büyüme kabiliyeti nedeniyle, metanol kullanım yolunu (Mut) sıkı bir şekilde düzenleyen bir dizi güçlü ve indüklenbilir promotöre sahiptir. Üç adet *K. phaffii* metanol kullanım fenotipi vardır. Her iki AOX geninin de (AOX1, AOX2) işlevsel olduğu suşlar Mut⁺, yalnızca AOX2 geninin işlevsel olduğu suşlar Mut^s, her iki AOX geninin de ifade edilmediği suşlar ise Mut⁻ olarak sınıflandırılmaktadır. Metanol ile indüklenen P_{AOX1} , glikoz, gliserol ve etanol tarafından baskılanmaktadır. Tam indüksiyon yalnızca metanol eklendikten sonra görülmektedir ve bu durum yüksek verim elde edilmesini sağlar.

K. phaffii'de rekombinant proteinlerin ekspresyonu için kullanılan bir diğer önemli promotör de formaldehit dehidrogenaz 1 (FLD1) geninin promotörüdür. Bu promotör P_{AOX1} 'e benzer düzenleyici özelliklere sahiptir. Tek karbon kaynağı olarak metanol veya tek azot kaynağı

olarak metilamin ile indüklenir. Metanol ile aynı anda hem P_{AOX1} hem de P_{FLD1}'in indüklenmesi sağlanabilmektedir. Dihidroksiaseton sentaz (DAS), alkol dehidrogenaz (ADH1), enolaz (ENO1) ve gliserol kinaz (GUT1) enzimlerini kodlayan genlerin promotörleri de *K. phaffii* mayasında kullanılan indüklenebilir promotörlerdendir. Kullanım amacına göre belirtilen promotörlerden herhangi biri kullanılarak bu mayada yüksek verimde rekombinant protein üretimi gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada *K. phaffii* mayasında indüklenebilir ekspresyon sistemleri tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: *Komagataella phaffii*, indüklenebilir promotör, protein ekspresyonu

1. GİRİŞ

K. phaffii gibi metilotrofik maya türleri, rekombinant heterolog protein üretimi için hücrel konak olarak giderek daha fazla tercih edilmektedir. Mayalar memeli hücrelerinden farklı olarak genetik modifikasyon açısından daha esnek olup, yüksek hücre yoğunluklarında verimli bir şekilde kültürlenebilmektedir. Ayrıca, *K. phaffii* bir ökaryotik organizma olduğundan proteinlerin doğru katlanması için gerekli olan translasyon sonrası modifikasyonları gerçekleştirme kapasitesine sahip olup, bu özellikleri işlevsel ve çözünür rekombinant proteinlerin üretimini mümkün kılmaktadır. Rekombinant DNA'nın lineer halde hücre içine gönderilmesi ve homolog rekombinasyon teknikleriyle yüksek verimlilikle kararlı hücre hatlarının oluşturulması sağlanmaktadır. Bu durum, hedef proteinin birden fazla kopyasının, farklı alt birimleri içeren multimerik proteinlerin ya da hedef proteinin ekspresyonunu mümkün kılmaktadır. *K. phaffii* sisteminin bir diğer önemli avantajı, güçlü promotörlerin sağladığı kontrol mekanizmaları sayesinde yabancı genlerin ifadesinin düzenlenebilmesidir. Bu özellik, hedef proteinlerin büyük miktarlarda ve çoğu ökaryotik sistemle karşılaştırıldığında daha düşük maliyetlerle üretilebilmesini sağlamaktadır. Ayrıca rekombinant proteinleri kültür ortamına verimli bir şekilde salgılama yeteneği ile de tanınmaktadır. Bu durum rekombinant proteinlerin yüksek saflıkta saflaştırılmasını kolaylaştırmaktadır (Daly & Hearn, 2005; Steimann vd., 2024; Unver vd., 2018a).

K. phaffii tek karbon kaynağı olarak metanol, glikoz, gliserol veya etanol içeren kültür ortamlarında hızla büyümektedir (Türkanoglu Özçelik vd., 2019). Alkol oksidaz (AOX), formaldehit dehidrogenaz 1 (FLD1), dihidroksiaseton sentaz (DAS), alkol dehidrogenaz

(ADH1), enolaz (ENO1) ve gliserol kinaz (GUT1) enzimlerini kodlayan genlerin promotörleri de *K. phaffii* mayasında kullanılan indüklenebilir promotörlerdendir. Kullanım amacına göre belirtilen promotörlerden herhangi biri kullanılarak bu mayada yüksek verimde rekombinant protein üretimi gerçekleştirilebilir.

2. İndüklenebilir Promotörler

AOX promotörü

K.phaffii 'de AOX1 ve AOX2 olmak üzere iki alkol oksidaz geni ve bunlara karşılık gelen P_{AOX1} ve P_{AOX2} promotörleri vardır. P_{AOX1} , P_{AOX2} 'ye göre yaklaşık 10 kat daha güçlüdür ve bu sebepten ötürü yüksek düzeyde heterolog protein ekspresyonu için genellikle P_{AOX1} kullanılmaktadır. AOX1 ve AOX2 enzimi metanol kullanım yolunda metanolün formaldehite dönüşümünü katalize eder. Bu nedenle AOX promotörü ile gen indüksiyonu için metanol gereklidir (Singh & Narang, 2023; Unver vd., 2024). *K. phaffii* metanolü metanol kullanım yoluyla (Mut) metabolize etme yeteneğine sahiptir. Her iki AOX geninin de işlevsel olduğu suşlar Mut^+ olarak sınıflandırılır. AOX2 geninin işlevsel olup AOX1 geninin işlevsel olmadığı suşlar Mut^S olarak sınıflandırılır. Her iki AOX geninin de işlevsel olmadığı suşlar da metanolü metabolize edilemez ve bu suşlar, Mut^- olarak sınıflandırılır (Bustos vd., 2022; Karbalaei vd., 2020). Metanol ile indüklenen P_{AOX1} , glikoz, gliserol ve etanol tarafından baskılanmaktadır. Tam indüksiyon yalnızca metanol eklendikten sonra görülmektedir ve bu durum yüksek verim elde edilmesini sağlar (Bernat-Camps vd., 2023).

Unver et al., 2018 ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada, tümör baskılayıcı özelliği olduğu bilinen insan PinX1 proteinini kodlayan geni (hPinX1) pPICZαA'ya klonlamışlardır. Ardından elde edilen rekombinant DNA'nın, protein üretimi için kompetan *K. phaffii* hücrelerine transformasyonunu gerçekleştirmiş ve pPICZαA-hPinX1 rekombinant DNA'sını içeren maya hücrelerini BMMY kültür ortamına almışlardır. En iyi protein üretiminin olduğu ekspresyon koşullarını belirlemek için farklı inkübasyon sürelerinde (24 saat, 48 saat ve 72 saat), farklı metanol konsantrasyonları (%0,5, %1,0, %2,0, %3,0 ve %4) ve başlangıç pH'larının farklı olduğu (4,0, 5,0, 6,0 ve 7,0) kültür ortamlarında rekombinant protein üretimini gerçekleştirmişlerdir. Western blot analizi ile deney gruplarını karşılaştırarak optimum ekspresyon koşullarını belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, rekombinant protein

üretimini en yüksek olduğu inkübasyon süresi 48 saat, metanol konsantrasyonu %3 ve pH değeri 5 olarak belirlenmiştir.

FLD1 promotörü

K. phaffii'de rekombinant protein ekspresyonu için önemli olan promotörlerden biri de formaldehit dehidrogenaz (FLD1) geninin promotörüdür. Bu promotör P_{AOX1} 'e benzer düzenleyici özelliklere sahiptir ve tek karbon kaynağı olarak metanolla (azot kaynağı olarak amonyum sülfat ile birlikte) indüklenebilmektedir. Tek azot kaynağı olarak metilamin ve karbon kaynağı olarak glikoz veya sorbitol kombinasyonu ile güçlü bir şekilde indüklenebilmektedir (H. Duan vd., 2009). Her iki yolda da formaldehit ara ürünü oluşmaktadır. Formaldehit, formaldehit dehidrogenaz tarafından formata ve daha sonra format dehidrogenaz ile de karbondioksite oksitlenebilir (Sunga & Cregg, 2004).

Zhan vd. 2014 ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada pPIC9K-IFTase rekombinant plazmitine FLD1 geni klonlanmış ve pPIC9K-FLD1-IFTase oluşturulmuştur. Oluşturulan plazmit, *SalI* enzimi ile lineer hale getirilerek *K. phaffii* hücrelerine transfer edilmiştir. Ardından protein üretimine geçilmiştir. Azot ve karbon kaynağı olmak üzere farklı indükleyici ajan kombinasyonlarının (metilamin hidroklorür-gliserol, metilamin hidroklorür-glikoz, metilamin hidroklorür-metanol, amonyum sülfat-metanol) kullanıldığı kültür ortamlarının enzim üretimi ve aktivitesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. HPLC (Yüksek performanslı sıvı kromatografisi) analizi ile IFTaz enziminin aktivitesini test etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre azot kaynağı olarak metilamin hidroklorür, karbon kaynağı olarak metanol kullanılan üretim grubunda enzim aktivitesi ve üretim miktarı diğer gruplara göre daha yüksek çıkmıştır.

DAS promotörü

Dihidroksiaseton sentaz, %91 oranında benzerlik gösteren iki gen (DAS1 ve DAS2) tarafından sentezlenmektedir (X. Duan vd., 2018). P_{DAS} , P_{AOX1} ile benzer düzenleyici özelliklere ve ifade seviyesine sahip olan Mut yolundan bir promotördür. Her iki DAS geni de metanol varlığında aynı ölçüde indüklenmektedir (Vogl & Glieder, 2013).

Takagi et al. 2019 tarafından yapılan çalışma, DAS promotörü için metanol kullanmadan protein ekspresyonunun gerçekleştirilebildiğini göstermiştir. Güçlü bir metanolla indüklenebilir promotör olan P_{DAS1}'i düzenledikten sonra *Citrobacter braakii* fitaz enziminin üretimi için kullanmışlardır. Bu amaçla, P_{DAS1} kullanarak KpTRM1'in (*K. phaffii*'de metanol kullanımıyla ilişkili genlerin pozitif transkripsiyon düzenleyicisi) yapısal ifadesini gerçekleştirmiş ve bu promotörün maya hücrelerinin ortama metanol eklemeyen fitaz üretimini sağladığını göstermişlerdir.

Diğer promotörler

Alkol dehidrojenaz (ADH) genleri *S. cerevisiae*'de etanol metabolizmasından sorumludur. *K. phaffii*'de ADH ve ADH3 olmak üzere iki farklı alkol dehidrojenaz geni (ADH) vardır. P_{ADH}, metanol ve glukoz tarafından baskılanırken, etanol ve gliserol tarafından indüklenmektedir. Bir diğer promotör olan P_{ENO1}, glikoz, etanol ve metanol tarafından baskılanırken, gliserol tarafından indüklenmektedir (Cregg JM, 2012; Unver & Dagci, 2024). Enolaz, 2-fosfoglisaratın fosfoenolpirüvata dönüşümünü katalize eden bir enzimdir (Didiasova vd., 2019). İndüklenebilir başka bir promotör olan P_{GUT1} ise metanol tarafından baskılanırken gliserol, glukoz ve etanol tarafından indüklenmektedir (Cregg JM, 2012; Unver & Dagci, 2024).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Son yıllarda *K. phaffii*'de rekombinant protein ekspresyonunun yaygınlaşmasıyla birlikte indüklenebilir promotörlerin kullanımını da sıklaştırmıştır. Kültür ortamında indükleyici ajan olarak tek karbon kaynağı veya tek azot kaynağı bulunması promotörlerin indüklenmesini ve ardındaki genlerin ekspresyonunu sağlamaktadır. İndüklenebilir promotörlerle rekombinant proteinlerin ekspresyonu daha yüksek konsantrasyonlara ulaşabilir veya kontrol altında tutulabilir.

KAYNAKLAR

Bernat-Camps, N., Ebner, K., Schusterbauer, V., Fischer, J. E., Nieto-Taype, M. A., Valero, F., Glieder, A., & Garcia-Ortega, X. (2023). Enabling growth-decoupled *Komagataella phaffii* recombinant protein production based on the methanol-free PDH promoter. *Frontiers in*

Bioengineering and Biotechnology, 11, 1130583.
<https://doi.org/10.3389/FBIOE.2023.1130583/BIBTEX>

Bustos, C., Quezada, J., Veas, R., Altamirano, C., Braun-Galleani, S., Fickers, P., & Berrios, J. (2022). Advances in Cell Engineering of the *Komagataella phaffii* Platform for Recombinant Protein Production. *Metabolites* 2022, Vol. 12, Page 346, 12(4), 346.
<https://doi.org/10.3390/METABO12040346>

Cregg JM, T. I. (2012). *P. PASTORIS ADH PROMOTER AND USE THEREOF TO DIRECT EXPRESSION OF PROTEINS* .

Daly, R., & Hearn, M. T. W. (2005). Expression of heterologous proteins in *Pichia pastoris*: a useful experimental tool in protein engineering and production. *Journal of Molecular Recognition*, 18(2), 119-138. <https://doi.org/10.1002/JMR.687>

Didiasova, M., Schaefer, L., & Wygrecka, M. (2019). When place matters: Shuttling of enolase-1 across cellular compartments. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 7(APR), 444130. <https://doi.org/10.3389/FCELL.2019.00061/BIBTEX>

Duan, H., Umar, S., Hu, Y., & Chen, J. (2009). Both the AOX1 promoter and the FLD1 promoter work together in a *Pichia pastoris* expression vector. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25(10), 1779-1783. <https://doi.org/10.1007/s11274-009-0077-4>

Duan, X., Gao, J., & Zhou, Y. J. (2018). Advances in engineering methylotrophic yeast for biosynthesis of valuable chemicals from methanol. *Chinese Chemical Letters*, 29(5), 681-686. <https://doi.org/10.1016/J.CCLET.2017.11.015>

Karbalaei, M., Rezaee, S. A., & Farsiani, H. (2020). *Pichia pastoris*: A highly successful expression system for optimal synthesis of heterologous proteins. *Journal of Cellular Physiology*, 235(9), 5867-5881. <https://doi.org/10.1002/JCP.29583>

- Singh, A., & Narang, A. (2023). PAOX1 expression in mixed-substrate continuous cultures of *Komagataella phaffii* (*Pichia pastoris*) is completely determined by methanol consumption regardless of the secondary carbon source. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *11*, 1123703. <https://doi.org/10.3389/FBIOE.2023.1123703/BIBTEX>
- Steimann, T., Heite, Z., Germer, A., Blank, L. M., Büchs, J., Mann, M., & Magnus, J. B. (2024). Understanding exopolysaccharide byproduct formation in *Komagataella phaffii* fermentation processes for recombinant protein production. *Microbial Cell Factories*, *23*(1), 131. <https://doi.org/10.1186/S12934-024-02403-3>
- Sunga, A. J., & Cregg, J. M. (2004). The *Pichia pastoris* formaldehyde dehydrogenase gene (FLD1) as a marker for selection of multicopy expression strains of *P. pastoris*. *Gene*, *330*(1-2), 39-47. <https://doi.org/10.1016/J.GENE.2003.12.015>
- Takagi, S., Tsutsumi, N., Terui, Y., Kong, X. Y., Yurimoto, H., & Sakai, Y. (2019). Engineering the expression system for *Komagataella phaffii* (*Pichia pastoris*): an attempt to develop a methanol-free expression system. *FEMS Yeast Research*, *19*(6), 59. <https://doi.org/10.1093/FEMSYR/FOZ059>
- Türkanoğlu Özçelik, A., Yılmaz, S., & Inan, M. (2019). *Pichia pastoris Promoters* (ss. 97-112). https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9024-5_3
- Unver, Y., Ari, B., Acar, M., & Yildiz Arslan, S. (2024). A self-inducible heterologous protein expression system in *Komagataella phaffii* (*Pichia pastoris*). *3 Biotech*, *14*(9), 193. <https://doi.org/10.1007/s13205-024-04039-x>
- Unver, Y., & Dagci, I. (2024). *Komagataella phaffii* (*Pichia pastoris*) as a Powerful Yeast Expression System for Biologics Production. *Frontiers in Bioscience-Elite*, *16*(2). <https://doi.org/10.31083/j.fbe1602019>

- Unver, Y., Yildiz, M., Kilic, D., Taskin, M., Firat, A., & Askin, H. (2018a). Efficient expression of recombinant human telomerase inhibitor 1 (hPinX1) in *Pichia pastoris*. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 48(6), 535-540.
<https://doi.org/10.1080/10826068.2018.1466160>
- Unver, Y., Yildiz, M., Kilic, D., Taskin, M., Firat, A., & Askin, H. (2018b). Efficient expression of recombinant human telomerase inhibitor 1 (hPinX1) in *Pichia pastoris*. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 48(6), 535-540.
<https://doi.org/10.1080/10826068.2018.1466160>
- Vogl, T., & Glieder, A. (2013). Regulation of *Pichia pastoris* promoters and its consequences for protein production. *New Biotechnology*, 30(4), 385-404.
<https://doi.org/10.1016/J.NBT.2012.11.010>
- Zhan, R., Mu, W., Jiang, B., Zhou, L., & Zhang, T. (2014). Efficient secretion of inulin fructotransferase in *Pichia pastoris* using the formaldehyde dehydrogenase 1 promoter. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 41(12), 1783-1791.
<https://doi.org/10.1007/S10295-014-1516-2>

BEYİN TÜMÖRLERİNİN TEDAVİSİNDE HİPERTERMİ

Yüksek Lisans Öğrencisi, Şeymanur SANCAKTUTAN

Atatürk Üniversitesi

seymanur.sancaktutan@ogr.atauni.edu.tr - 0009-0000-9192-5794

Doç. Dr. Yağmur ÜNVER

Atatürk Üniversitesi

yunver@atauni.edu.tr - 0000-0003-1497-081X

ÖZET

Beyin tümörleri, hayati risk taşıyan ve tedavisi en zorlu kanser türleri arasında yer almaktadır. En yaygın beyin tümörleri, sistemik kanserlerden köken alan intrakraniyal metastazlar, menenjiomlar ve glioblastomlardır. Bu tümörler merkezi sinir sisteminin (MSS) herhangi bir bölgesinde ortaya çıkabilir ve tedavileri, tıbbi onkolojinin yanı sıra multidisipliner bir yaklaşımla ele alınmasını gerektirir.

Son yıllarda yapılan birçok çalışma, beyin tümörlerinin tedavisinde hipertermi (HT) yönteminin kullanıldığını ortaya koymaktadır. HT, vücutta belirli bir bölgenin sıcaklığının terapötik bir etki sağlamak amacıyla bazal değerinin üzerine çıkarıldığı bir tedavi yöntemidir. HT; sistemik, bölgesel ve lokalize yaklaşımlar ile uygulanabilmektedir. Lokal HT uygulamasının, tedaviyi tümör bölgesine odaklaması sayesinde diğer yöntemlere göre daha etkili olduğu bilinmektedir. Ayrıca, lokal HT'nin diğer modalitelere kıyasla daha az yan etki oluşturduğu da belirtilmektedir. Beyin tümörlerinin tedavisinde lokalize HT yöntemleri arasında lazer interstisyel termal tedavi (lazer interstitial thermal therapy; LITT), manyetik hipertermi tedavisi (magnetic hyperthermia; MHT) ve fototermal tedavi (photothermal therapy; PTT) en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Bu çalışmada, çeşitli lokal HT yaklaşımlarının beyin tümörleri üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

GİRİŞ

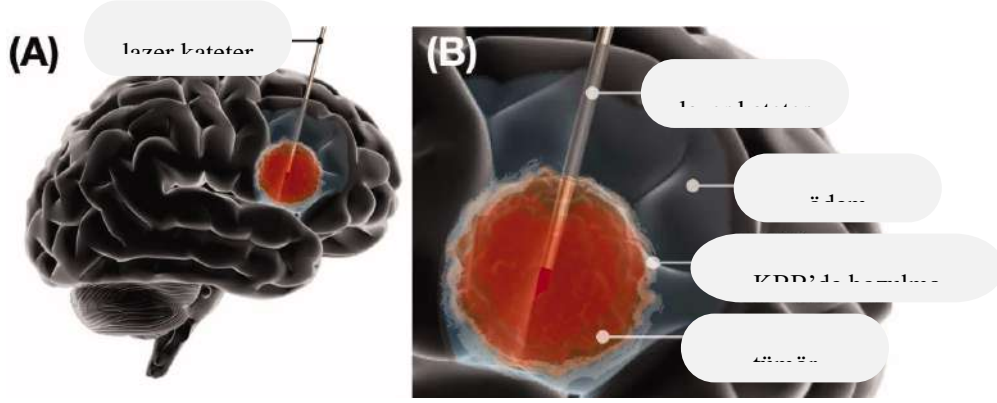
Beyin ve diğer merkezi sinir sistemi (MSS) tümörleri, hayati risk taşıyan ve tedavisi oldukça zorlu kanser türleri arasında yer almaktadır. Bu tümörler, Amerika Birleşik Devletleri gibi büyük ülkelerde önemli derecede morbidite ve mortaliteye yol açmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, her yaştaki kötü huylu tümörlerin neredeyse yarısını (%49) glioblastomlar oluştururken, kötü huylu tümörlerin yarısından fazlasını (%54) menenjiyomlar oluşturmaktadır (Miller vd., 2021). En yaygın beyin tümörleri arasında sistemik kanserlerden köken alan intrakraniyal metastazlar, menenjiyomlar ve glioblastomlar yer alır. Bu tümörler arasında, IV. derece astrositom olarak sınıflandırılan glioblastoma, en yaygın ve en agresif olanıdır. Beynin herhangi bir bölgesinde gelişebilen bu tümörlerin tedavisinde cerrahi, kemoterapi ve radyoterapi yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak, bu tedavi yöntemlerinin sonucunda hastalarda kanama ve enfeksiyon gibi çeşitli komplikasyonlar gelişebilmektedir ve bu durum, hastaların

yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, beyin tümörlerinin tedavisi tıbbi onkolojinin yanı sıra multidisipliner yaklaşımlar gerektirmektedir (McFaline-Figueroa ve Lee, 2018; Yeşilyaprak T., 2021).

Son yıllarda yapılan birçok çalışma, beyin tümörlerinin tedavisinde invazif olmayan hipertermi (HT) yönteminin kullanıldığını ortaya koymaktadır. HT, vücutta belirli bir bölgenin sıcaklığının terapötik bir etki sağlamak amacıyla bazal değerinin üzerine çıkarıldığı bir tedavi yöntemidir. Bu durum, kanser hücrelerinde hücre çoğalmasını ve apoptoz indüksiyonunu durdurmaktadır. HT, tümör hücrelerine seçici olarak zarar verebilir ve ayrıca kanser hücrelerini radyoterapi ve kemoterapiye karşı daha duyarlı hale getirebilir. HT, sistemik, bölgesel ve lokalize yaklaşımlar ile uygulanabilmektedir. Lokal HT uygulamasının, tedaviyi tümör bölgesine odaklaması sayesinde diğer HT uygulamalarına kıyasla daha etkili olduğu bilinmektedir. Ayrıca, lokal HT'nin diğer modalitelere kıyasla daha az yan etki oluşturduğu da belirtilmektedir (Hashemi vd., 2022; Skandalakis vd., 2020). Lokal HT, harici bir ısıtma cihazı sayesinde elde edilir ve katı bir tümörün spesifik bir şekilde ısıtılmasını sağlar. Lokal HT, heterojen bir sıcaklık dağılımını hedefler. Bu durum sayesinde metabolik ve tümörün damarsal değişikliklerini içeren ısıya bağlı fizyolojik değişikliklere yol açar. Tümör dokusu normal dokuya kıyasla daha düşük perfüzyona sahiptir. Bu nedenle tümör dokusuna lokal HT uygulaması yapıldığında ısıyı normal dokuya göre daha az dağıtmaktadır. Bu durum, tümör dokusunu normal dokuya göre ısıya daha duyarlı hale getirir (Skandalakis vd., 2020).

LAZER İNTERSTİSYEL TERMAL TEDAVİ (LITT)

Günümüzde, lazer interstisyel termal tedavi (laser interstitial thermal therapy; LITT), beyin tümörlerinin tedavisinde en yaygın kullanılan termal ablasyon yöntemlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. LITT, açık cerrahiye benzer sağkalım avantajları sunmakla birlikte, daha düşük cerrahi komplikasyon oranları ve daha kısa hastanede kalış süreleri gibi önemli avantajlara sahiptir. (Laurent vd., 2018)'nin gerçekleştirdiği bir dizi çalışma, LITT'nin genel anesteziye ihtiyaç duyulmaksızın, uyanık bir ortamda hastalara uygulanabildiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, prosedür sırasında ilk stereotaktik biyopsi, doku tanısı amacıyla gerçekleştirilebilmektedir. (Shah vd., 2018, 2020) çalışmalarında, LITT'nin hem tanı hem de sitoredüksiyon amacıyla güvenli ve etkili bir yöntem olduğunu bildirmiştir. Bu yöntem sırasında, görüntüleme rehberliğinde lazer kateter probu, küçük bir burr (beyin cerrahının kafatasında açtığı küçük delik) deliğinden tümöre stereotaktik olarak yerleştirilir **Şekil 1**. Daha sonra probun ucundan uygulanan ışık enerjisi, tümör dokusu içinde ısıya dönüştürülerek çevredeki dokuların lokal termal ablasyonu sağlanır. Bu işlem sonucunda, hedeflenen tümör hücrelerinin ölümüne yol açan hipertermi etkisi meydana gelir.

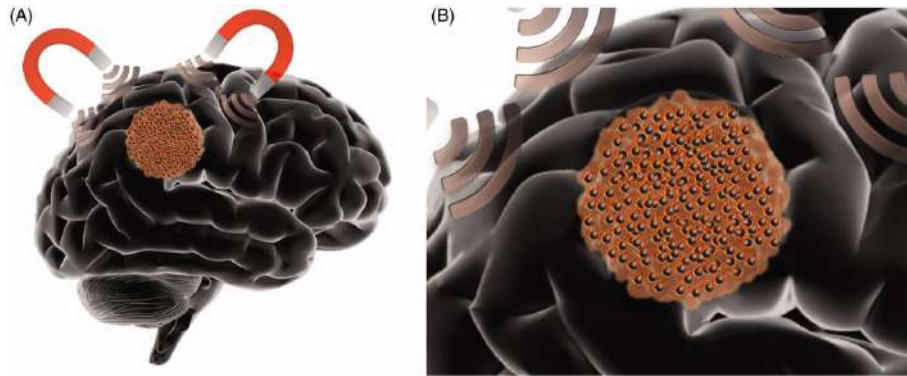


Şekil 1 Lazer interstisyel termal tedaviyi (LITT) gösteren beyin tümörü çizimi. (A) Lazer kateterinin tümör içine yerleştirilmesinin ve beyin tümörü ablasyonunun şematik gösterimi. (B) LITT ile ilişkili kan beyin bariyeri (BBB) bozulması ve LITT ile ilişkili perifokal ödem ile tutarlı LITT sonrası kontrast artışı gösteren beyin tümörü ablasyonunun şematik gösterimi. (Skandalakis vd., 2020)'den alıntılanmıştır.

(Salehi vd., 2020) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, lazer tedavisinin kan-beyin bariyeri (KBB) ve kan-tümör bariyeri (KTB) geçirgenliğini artırma potansiyelini *in vivo* değerlendirmek amacıyla LITT kullanılan bir fare modeli geliştirilmiştir. Çalışmada, farelere ortotopik glioblastoma tümörü implantasyonu yapılmış ve ardından KBB izleyicileri ile antikanser ajan doksorubisin uygulanarak LITT tedavisi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, yüksek moleküler ağırlıklı partiküllerin LITT sonrasında KBB ve KTB'yi geçme olasılığının arttığını göstermiştir. Ayrıca, lazerle indüklenen KBB geçirgenliğindeki artış, beyin parankimasında dekstran floresan yoğunluğunun anlamlı bir şekilde yükselmesiyle doğrulanmıştır.

MANYETİK HİPERTERMİ TEDAVİSİ (MHT)

Manyetik hipertermi tedavisi (magnetic hyperthermia therapy MHT), ilk kez 1957 yılında lenf düğümlerine metastaz yapmış kanserlerin tedavisinde uygulanmıştır. Bu yöntem, lokalize hipertermi prensiplerine dayanarak manyetik nanopartiküllerin (MNP) kullanımı ve ısı üretimi amacıyla alternatif bir manyetik alanın (alternating magnetic field; AMF) dahil edilmesiyle geliştirilmiştir. MHT sürecinde ısı, MNP'lerin hedef bölgede birikmesi ve ardından harici bir AMF uygulanması sonucunda ortaya çıkar **Şekil 2**. (Mahmoudi vd., 2018).

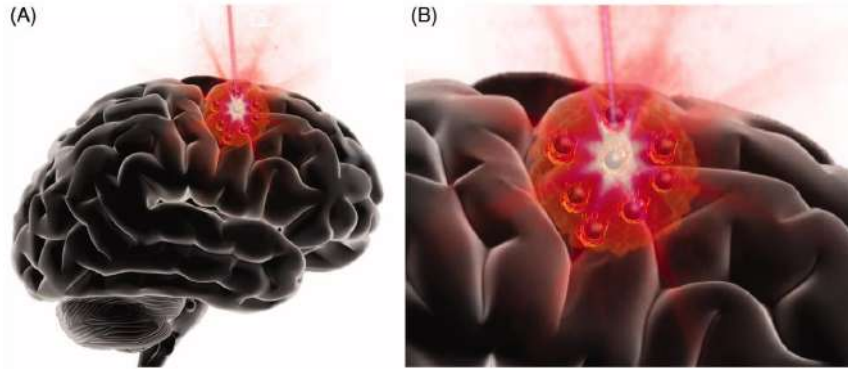


Şekil 2 Beyindeki manyetik hipertermi tedavisinin şematik gösterimi. (A) Manyetik nanopartiküllerin (siyah küreler) lokal olarak uygulanmasının ardından hastaya alternatif manyetik alan uygulanarak oldukça lokalize hipertermi oluşturulur. (Skandalakis vd., 2020)'den alıntılanmıştır.

MHT'yi beyin tümörleri ve özellikle GBM için bir tedavi olarak kullanmanın birçok avantajı vardır. İlk olarak, AMF'nin penetrasyon derinliği, HT'de yaygın olarak kullanılan diğer aktivasyon modalitelerinin (örneğin ışık veya akustik dalgalar) penetrasyon derinliğini aşarak, cilt kesisi veya kemik çıkarma işlemi yapmadan derin yerleşmiş tümörlerin ısıtılmasına olanak tanır. MNP'lerin enjeksiyon bölgesinde haftalarca kaldığının gösterilmesiyle birlikte, tek dozdan sonra birden fazla MHT seansı gerçekleştirmek mümkündür. Kısacası, MNP'ler tekrarlanan HT gerçekleştirmek için yerel olarak sınırlandırılmış, uzaktan kontrol edilebilen bir araçtır. (Adamiano vd., 2019) gerçekleştirdiği çalışmada, iki farklı süperparamagnetik kalsiyum fosfat nanokompozit nanopartikül sentezlenmiştir; amorf kalsiyum fosfat (Mag@CaP) ve demir katkılı hidroksiapatit (Mag). Bu nanopartiküllerin beyin kanseri hücrelerine karşı seçici aktiviteleri değerlendirilmiştir. Çalışmada, glioblastoma hücrelerine farklı süre ve konsantrasyonlarda, iki farklı kaplamaya sahip MNP uygulanmış ve hücre canlılıkları analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, MNP uygulanan ve MHT ile tedavi edilen gruplarda hücre canlılığında anlamlı bir azalma olduğunu göstermektedir.

FOTOTERMAL TEDAVİ (PTT)

Nanopartikül aracılı fototermal tedavi (photothermal therapy; PTT), lokal ısı kaynakları olarak hareket edebilen nano ölçekli fototermal ajanların (photothermal agents; PTAs) termal özelliklerine ve tümöre ulaşabilen ve PTA'ları uyarabilen yakın kızılötesi ışın (near infrared reflectance) NIR) radyasyonunun nüfuz edici özelliklerine dayanan HT uygulamaları için hızla gelişen bir platformdur.



Şekil 3 Beyin tümörü nanopartikül aracılı fototermal terapinin (PTT) çizimi. (A) Fototermal ajanlar (PTA'lar) uygulandıktan sonra beyin tümörüne lokal NIR ışık uygulamasının şematik gösterimi (siyah küreler). (B) Beyin tümörü içindeki PTA'ların NIR ışık uyarımını gösteren şematik çizim. PTA'lar NIR ışığını emer ve lokal ısı kaynakları olarak hareket eden termal enerji yayar. (Skandalakis vd., 2020)'den alıntılanmıştır.

Nanopartikül aracılı PTT, iki aşamalı bir tedavi yaklaşımı olup, PTA'ların lokal veya sistemik olarak uygulanmasını ve bunu takiben yakın kızılötesi NIR lazerlerle lokal ışık uygulamasını içerir **Şekil 3**. PTA'ların yüzeyinde yer alan elektronların salınımına bağlı olarak farklı dalga boylarında ışık emilmesi, lokalize yüzey plazmon rezonansı meydana getirir. Bu süreç, termal enerji açığa çıkararak tümör dokusunda sıcaklık artışına neden olurken çevredeki normal beyin dokusunun termal hasardan korunmasını sağlar. PTT, normal beyin dokusunda oluşabilecek hasar riskini daha da azaltmak amacıyla, önceden tanımlanmış NIR ışık enerjisi uygulama aralıkları ve sıcaklık izleme yöntemleriyle optimize edilebilir (Skandalakis vd., 2020). (Day vd., 2012)'nin gerçekleştirdiği bir çalışmada, intraserebral glioma tümörleri taşıyan fare

modellerinde tümör damar yapısını hedeflemek amacıyla vasküler endotelial büyüme faktörü (VEGF) ile konjuge edilmiş PTA'lar incelenmiştir. Çalışmada, konjuge PTA'lar farelere uygulandıktan sonra tümörler yakın kızılötesi ışığa maruz bırakılarak tedavi etkinliği değerlendirilmiştir. VEGF hedeflemesinin, tümör damarlarına bağlı PTA konsantrasyonunu iki katına çıkardığı ve belirgin vasküler hasara yol açtığı gözlemlenmiştir.

SONUÇ

Hipertermi (HT), diğer tedavilerle birleştirilebilen beyin tümörleri için önemli bir tedavi yöntemidir. Kateter implantasyonu, MNP'ler ve diğer ajanları içeren HT için birden fazla yaklaşım mevcuttur. Şu anda, kateter bazlı LITT beyin tümörü hastalarında uygulanan en yaygın termal ablasyon yaklaşımıdır. HT'de en hızlı gelişen alan, çevredeki beyinde ısıyla ilişkili hasarı korurken HT'nin etkisini artırabilen MNP'ler ve AMF'nin kullanımınıdır. Daha yüksek ısıtma kapasitesine ve daha iyi tümör hedefleme şemalarına sahip daha gelişmiş MNP'ler, gelecekteki beyin tümörü tedavileri için temel oluşturacaktır. Beyin tümörlerinin tedavisinde HT'nin ilerlemesini sürdürmek için translasyonel çalışmalara ve dikkatlice tasarlanmış klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

REFERANSLAR

- Adamiano, A., Wu, V. M., Carella, F., Lamura, G., Canepa, F., Tampieri, A., ... Uskoković, V. 2019. "Magnetic calcium phosphates nanocomposites for the intracellular hyperthermia of cancers of bone and brain". *Nanomedicine*, 14(10).
- Day, E. S., Zhang, L., Thompson, P. A., Zawaski, J. A., Kaffes, C. C., Gaber, M. W., ... West, J. L. 2012. "Vascular-targeted photothermal therapy of an orthotopic murine glioma model". *Nanomedicine*, 7(8).
- Hashemi, M., abbasiazam, A., Oraee-Yazdani, S., Lenzer, J. 2022. "Response of human glioblastoma cells to hyperthermia: Cellular apoptosis and molecular events". *Tissue and Cell*, 75.
- Laurent, D., Oliveria, S. F., Shang, M., Bova, F., Freedman, R., Rahman, M. 2018. "Techniques to ensure accurate targeting for delivery of awake laser interstitial thermotherapy". *Operative Neurosurgery*, 15(4).
- Mahmoudi, K., Bouras, A., Bozec, D., Ivkov, R., Hadjipanayis, C. 2018. "Magnetic hyperthermia therapy for the treatment of glioblastoma: a review of the therapy's history, efficacy and application in humans". *International Journal of Hyperthermia*.
- McFaline-Figueroa, J. R., Lee, E. Q. 2018. "Brain Tumors". *The American Journal of Medicine*, 131(8), 874-882.
- Miller, K. D., Ostrom, Q. T., Kruchko, C., Patil, N., Tihan, T., Cioffi, G., ... Barnholtz-Sloan, J. S. 2021. "Brain and other central nervous system tumor statistics, 2021". *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 71(5).
- Salehi, A., Paturu, M. R., Patel, B., Cain, M. D., Mahlokozera, T., Yang, A. B., ... Kim, A. H. 2020. "Therapeutic enhancement of blood-brain and blood-Tumor barriers permeability by laser interstitial thermal therapy". *Neuro-Oncology Advances*, 2(1).

- Shah, A. H., Richardson, A. M., Burks, J. D., Komotar, R. J. 2018. "Contemporaneous biopsy and laser interstitial thermal therapy for two treatment-refractory brain metastases". *Neurosurgical Focus*, 44.
- Shah, A. H., Semonche, A., Eichberg, D. G., Borowy, V., Luther, E., Sarkiss, C. A., ... Komotar, R. J. 2020. "The role of laser interstitial thermal therapy in surgical neuro-oncology: Series of 100 consecutive patients". *Neurosurgery*, 87(2).
- Skandalakis, G. P., Rivera, D. R., Rizea, C. D., Bouras, A., Jesu Raj, J. G., Bozec, D., Hadjipanayis, C. G. 2020. "Hyperthermia treatment advances for brain tumors". *International Journal of Hyperthermia*.
- Yeşilyaprak T., Ö. T. 2021. "Beyin tümörü olan hastalarda semptom yönetimine ilişkin güncel yaklaşımlar".

TÜRKİYE’DEKİ ÇAY TÜKETİCİLERİNİN SİYAH ÇAY TÜKETİM ALİŞKANLIKLARININ BELİRLENMESİ*

Doç. Dr. Özge Can NİYAZ ALTINOK¹,

Şura UĞUR², Serhat OĞUR³, Semih DEMİREL⁴, Tolga DALKIRAN⁵

¹ Sorumlu yazar: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi

E-mail: ozgecanniyaz@comu.edu.tr- ORCID ID: 0000-0002- 4958-9931

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi, Lisans Mezunları

ÖZET

Türkiye, Asya ile Avrupa kıtalarını birbirine bağlayan stratejik bir konuma sahiptir. Asya kültüründe önemli bir yeri olan çay yetiştiriciliği, cumhuriyetin ilk dönemlerinde Türkiye’de yaygınlaştırılmıştır. Türkiye, FAO 2018 yılı verilerine göre dünya çay üretiminin % 4’ünü gerçekleştirmekte ve dünyada altıncı sırada yer almaktadır. Siyah çay üretiminde dünyada önemli bir yere sahip olan Türkiye, beklenenin aksine çay ihracatında otuz birinci sırada yer almaktadır. Bunun en önemli nedeni ise siyah çay tüketiminde Türkiye’nin dünyada birinci sırada yer almasıdır. Bu nedenle hem üretim açısından hem de tüketim açısından Türkiye için öneme sahip olan siyah çay konusunun araştırılması önemli görülmüştür. Bu araştırmanın amacı Türkiye’deki siyah çay tüketicilerinin siyah çay tüketim alışkanlıklarının belirlenmesidir. Bu amaçla, Türkiye’de yaşayan 476 Türk siyah çay tüketicisi ile online anket yapılmıştır. Anketlerden elde edilen verilerin değerlendirilmesinde temel istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Araştırmanın öne çıkan sonuçlarına göre tüketicilerin % 77,1’i her gün siyah çay içmektedir. Araştırma kapsamındaki tüketicilerin % 56,5’i günde 1 ile 5 çay bardağı arasında, % 30,3’ü ise 6 ile 10 bardak arasında çay tüketmektedir. Araştırma kapsamındaki tüketiciler, en çok Çaykur marka çay tercih etmektedirler. Tüketicilerin % 83,6’sı demleme yöntemi ile demlenen çay tüketmeyi tercih etmektedir. Araştırma kapsamındaki tüketicilerin % 60,5’i çaylarını şekerlessiz tercih ederken, % 30,5’i şeker ilave etmektedir. Tüketiciler açısından önemli kriterler sırasıyla tat ve marka olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çay tüketimi, temel istatistikler, tüketici anketi.

* Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölüm’ünde bitirme ödevi dersi kapsamında gerçekleştirilen “TÜRKİYE’DEKİ ÇAY TÜKETİCİLERİNİN SİYAH ÇAY TÜKETİM ALIŞKANLIKLARININ BELİRLENMESİ” konulu çalışmadan oluşturulmuştur.

DETERMINING BLACK TEA CONSUMPTION HABITS OF TEA CONSUMERS IN TURKEY*

ABSTRACT

Turkey has a strategic position connecting the continents of Asia and Europe. Tea cultivation, which holds an important place in Asian culture, was promoted and expanded in Turkey during the early years of the Republic. According to FAO data from 2018, Turkey accounts for 4% of the world's tea production and ranks sixth globally. Despite being a significant producer of black tea, Turkey ranks 31st in tea exports. The main reason for this is that Turkey ranks first in the world for black tea consumption. Therefore, studying black tea, which holds critical importance for Turkey in terms of both production and consumption, is seen as significant. The aim of this study is to determine the black tea consumption habits of black tea consumers in Turkey. For this purpose, an online survey was conducted with 476 Turkish black tea consumers residing in Turkey. Basic statistical methods were used to evaluate the data obtained from the surveys. According to the prominent results of the study, 77.1% of the consumers drink black tea every day. Among the consumers, 56.5% consume between 1 and 5 tea glasses daily, while 30.3% consume between 6 and 10 glasses. Çaykur is the most preferred tea brand among the participants. Additionally, 83.6% of the consumers prefer tea brewed using traditional brewing methods. While 60.5% of the consumers prefer their tea without sugar, 30.5% add sugar. Taste and brand were identified as the most important criteria for consumers.

Keywords: Tea consumption, basic statistics, consumer survey.

* This study was derived from the project titled "DETERMINING BLACK TEA CONSUMPTION HABITS OF TEA CONSUMERS IN TURKEY," conducted as part of the graduation thesis course in the Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Çanakkale Onsekiz Mart University.

1. GİRİŞ

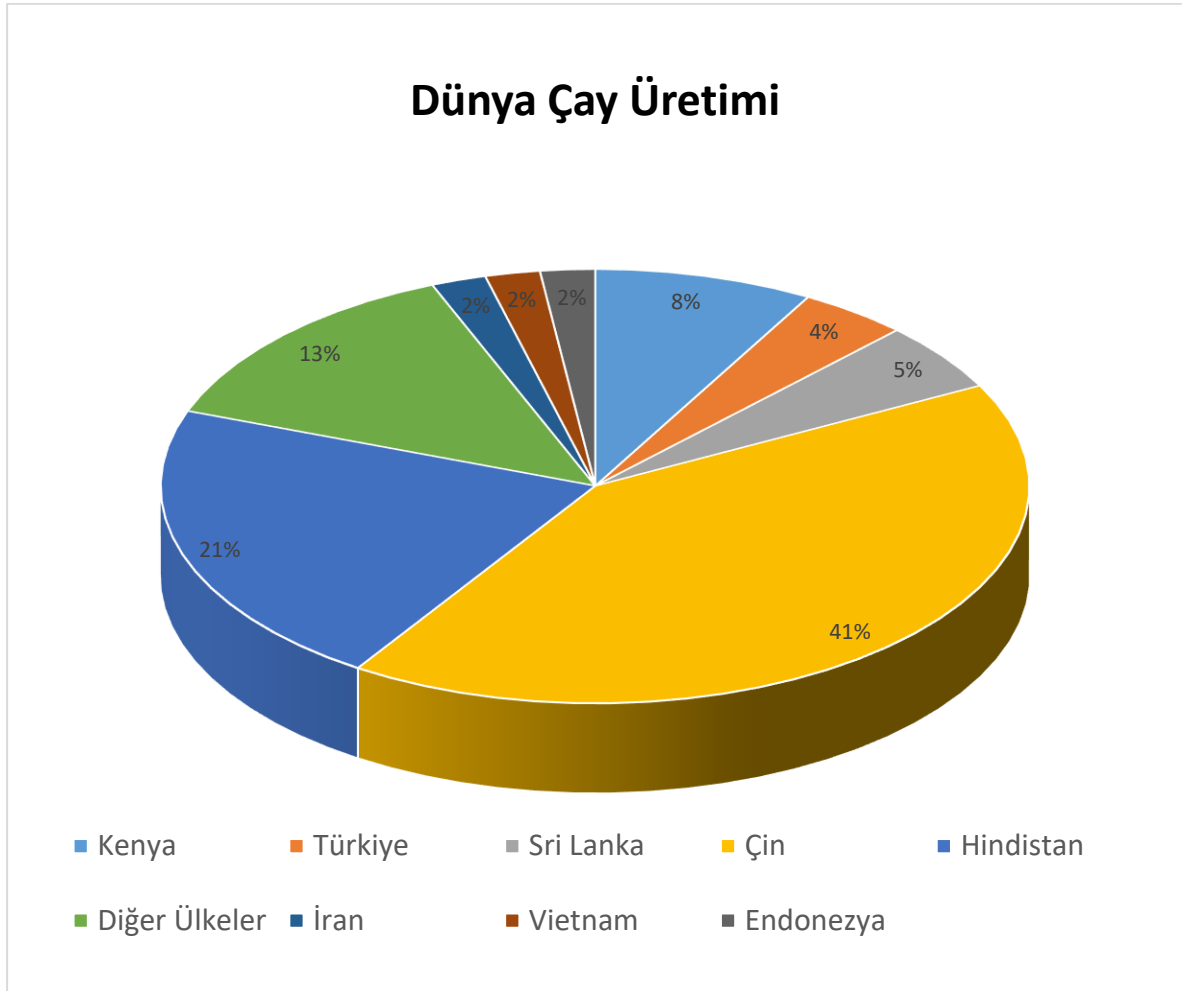
Dünyada sudan sonra tüketilen ikinci içecek olan çay (*Camellia Sinensis*), çaygiller (*Theaceae*) familyasındaki nemli iklimlerde yetişen, yaprak ve tomurcukları içecek maddesi üretmekte kullanılan bir tarım bitkisidir. Çay, dünya çapında hem sıcak hem de soğuk olarak çok tüketilen popüler içeceklerin başında gelmektedir. Eski bir geçmişe sahip olan çay, kültürel ve ekonomik açıdan insan yaşamında daima önemli bir yer tutmuştur. Çay, dünyada sudan sonra en fazla içilen ve içme alışkanlığı gittikçe artan önemli bir gıda ve içecek maddesidir (Kılıç ve ark., 2012; Sayılı, 2013; Kılıç ve ark., 2014; Cengiz ve Okan, 2021; Çalışır ve ark., 2019; Öztürk, 2019; Saklı, 2019; Önçirak, 2019; Uzundumlu ve ark., 2019; Yıldız, 2019; Yılmaz, 2019; Yıldız ve Koçan, 2021; Tandoğan ve Zencir, 2024). Çay bitkisinin yapraklarından hazırlanan çayın, tüketim alışkanlığının 16. yüzyıldan itibaren Asya'dan Avrupa ülkelerine, oradan da tüm dünyaya yayıldığı bilinmektedir. Çin'den, Rusya kanalıyla Osmanlı Devleti'ne giren çayın Anadolu topraklarında tüketim alışkanlığı 1600'lü yıllarda başlamaktadır. Ancak bu dönemde çay arzı ithalatla karşılandığından daha çok lüks mal olarak görülmekte ve onu yalnızca satın alabilenler tüketebilmekteydi. Tanzimat Dönemi'nden sonra çay halk arasında giderek yaygınlaşmış ve 19. yüzyılın sonlarında kahvaltı sofralarında yer almaya başlamıştır. Cumhuriyetin ilanından sonra, Mustafa Kemal Atatürk'ün teşviki ile çay tarımına başlanmıştır. Bu sayede Türkiye'de çay arzında artış olmuş ve bu gelişmeye paralel olarak çay tüketiminde de önemli artışlar yaşanmıştır (Alikılıç, 2016.) Özellikle son 10 yılda meydana gelen artışlar Türkiye'yi kişi başı çay tüketiminde 3,96 kilogram ile dünyada lider konuma getirmiştir. Türkiye'de günlük olarak tüketilen 245 milyon bardak çay, sudan sonra en çok tüketilen içecek olma özelliğini taşımaktadır. Türkiye dünya siyah çay üretiminde % 4 oranla altıncı sırada yer almaktadır. Önemli bir çay üreticisi olan Türkiye, ihracatta ise ilk otuz ülke arasında yer almamaktadır. Bunun nedeni dünya siyah çay tüketiminde birinci sırayı Türkiye'nin almasıdır (Çay Sektör Raporu, 2020). Siyah çay hem üretim hem de tüketim açısından Türkiye'de önemli bir yere sahiptir. Bu konunun amacı, dünyada hem siyah çay üretimi hem de siyah çay tüketiminde önemli bir yere sahip olan Türkiye'deki siyah çay üreticilerinin siyah çay tüketim alışkanlıklarının belirlenmesidir. Bu araştırma Türkiye genelini kapsamaktadır. Bu nedenle, son dönemde Türkiye'deki tüketicilerin siyah çay tüketim alışkanlıklarının ortaya konulması açısından önemli görülmektedir. Bu araştırmanın zaman kapsamı 2020 yılıdır. Anketler 2020 yılı Aralık ayında yapılmıştır. Araştırmanın tüketici kapsamı Türkiye'de siyah çay tüketen tüketicilerdir.

2.DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE ÇAY TÜKETİM İSTATİSTİKLERİ

2.1. Dünya'da Siyah Çay Üretim İstatistikleri

Dünya Gıda Örgütü (FAO) 2018 yılı verilerine göre; dünyada 4.2 milyon hektar (ha) alanda 6.3 Milyon Ton çay üretilmektedir. Grafik 1'de görüldüğü üzere, FAO istatistiklerine göre 2018 yılında dünya çay üretiminde Çin % 41, Hindistan % 21, Kenya % 8, Sri Lanka % 5, Vietnam %4, Türkiye %4, Endonezya % 2, İran % 2 ve diğer üretici ülkeler %13 paya sahiptir.

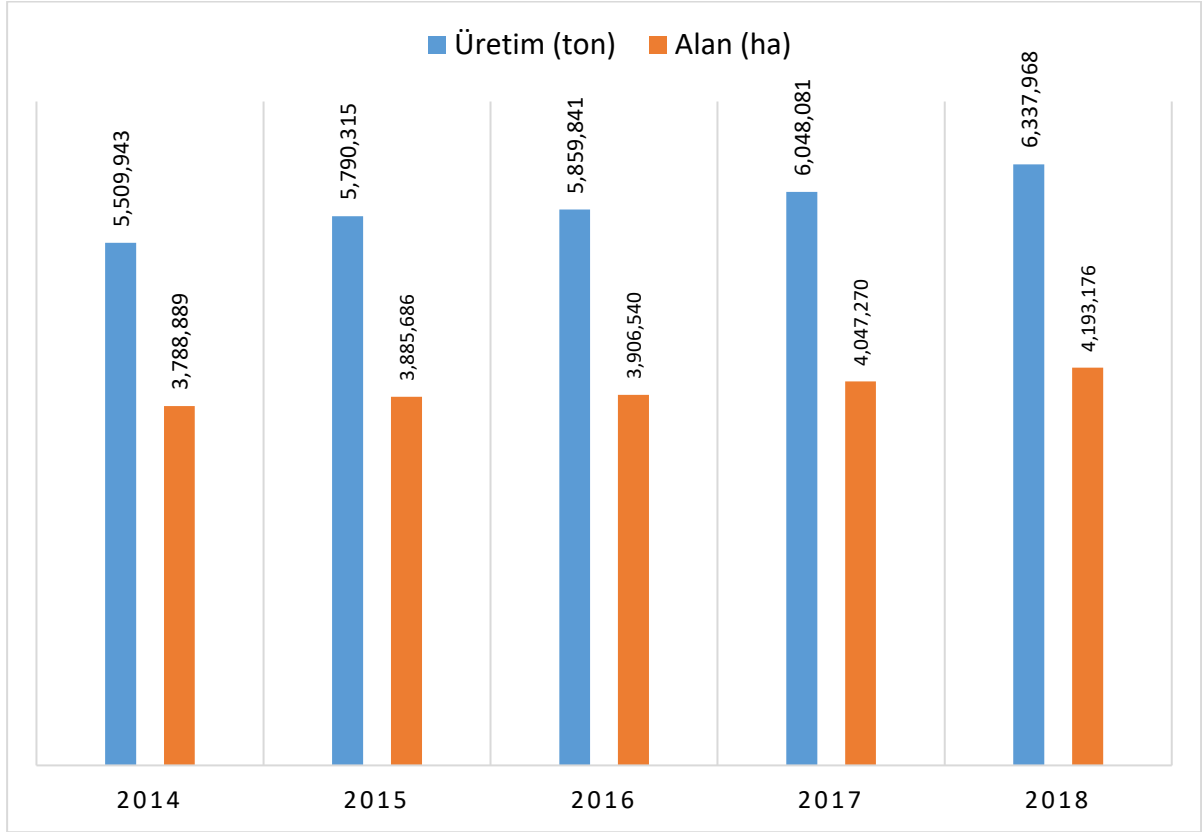
Grafik 1. Dünya Çay Üretimi (2018)



Kaynak: FAOSTAT, Erişim Tarihi: 10.04.2021

FAO istatistiklerine göre 2018 yılında dünyadaki çay tarım alanlarının dağılımı; Çin % 56, Hindistan % 15, Kenya % 6, Sri Lanka % 5, Endonezya % 3, Vietnam % 3, Myanmar % 2, Türkiye % 2 ve diğer üretici ülkeler % 9 şeklindedir.

Grafik 2. Dünya Çay Üretim Alanları (2018)



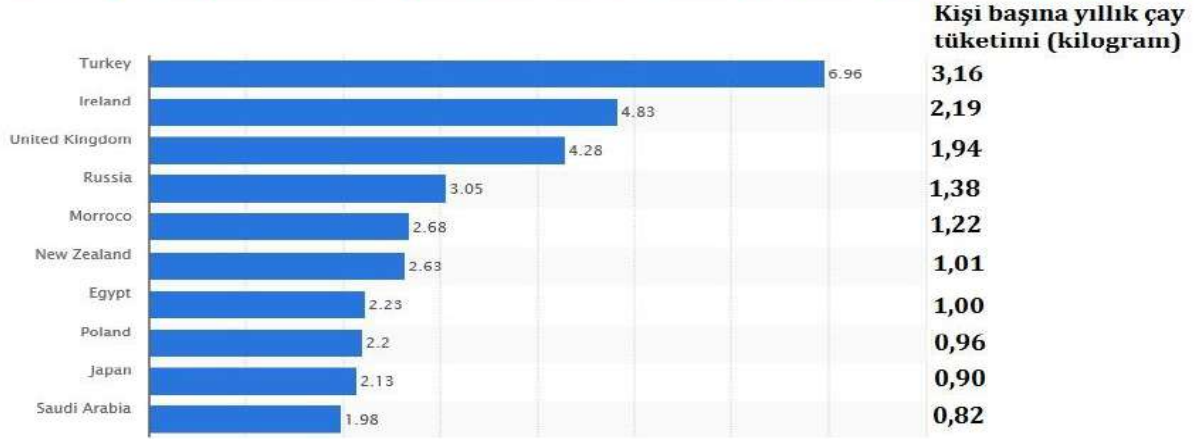
Kaynak: FAOSTAT, Erişim Tarihi: 30.06.2021

2.2. Dünyada Siyah Çay Tüketim İstatistikleri

Türkiye, dünya siyah çay tüketiminde lider konumdadır. Yıllık çay tüketimine bakıldığında Türkiye 3,16 kg ile birinci sıradadır.

Grafik 3. Ülkelere göre kişi başına yıllık çay tüketimi (kg)

Annual per capita tea consumption worldwide as of 2016, by leading countries (in pounds)



Source: www.statista.com/statistics/507950/global-per-capita-tea-consumption-by-country/

Kaynak: STATISTICA, 2021

Dünyada en çok çay içen ülkeler haritası Grafik 4'te verilmiştir. Burada da Türkiye'nin en çok çay içen ülke olduğu görülmektedir.

Grafik 4. Dünyada En Çok Çay İçen Ülkeler



Kaynak: Dünya Bankası, 2021

2.3. Türkiye’de Çay Üretim İstatistikleri

Türkiye’de 2015-2019 yılları arasındaki Türkiye’de toplam yaş çay yaprağı üretim miktarları Çizelge 1’de görülmektedir. Buna göre; Türkiye’de yaş çay yaprağı üretimi 2015 yılında 1.327.934 ton, 2016 yılında 1.350.000 ton, 2017 yılında 1.300.000 ton, 2018 yılında 1.480.534 ton ve 2019 yılında 1.407.448 ton olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 1. Yıllar İtibariyle Türkiye’de Yaş Çay Yaprağı Üretimi

Yıl	Yaş Çay Yaprağı Üretimi (Ton)
2015	1.327.934
2016	1.350.000
2017	1.300.000
2018	1.480.534
2019	1.407.448

Kaynak: TÜİK ,2021

Türkiye’de 2015- 2019 yılları arasında toplam kuru çay üretim miktarları Çizelge 2’de görülmektedir. Buna göre; Türkiye’de kuru çay üretimi 2014 yılında 226.800 ton, 2015 yılında 239.028 ton, 2016 yılında 243.000 ton, 2017 yılında 234.000 ton ve 2018 yılında 270.000 ton olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 2. Yıllar İtibariyle Türkiye’de Kuru Çay Üretimi

Yıl	Kuru Çay Üretimi (Ton)
2014	226.800
2015	239.028
2016	243.000
2017	234.000
2018	270.000

Kaynak: FAO,2019

2.4. Türkiye’de Çay Tüketim İstatistikleri

Türkiye’de nüfusun neredeyse tamamı çay içmektedir. Türkiye’de günde 245 milyon bardak çay tüketilmektedir. 2016 yılı verilerine göre kişi başı 3.16 kg’lık yıllık çay tüketimi ile dünyada birinci sırada yer alan Türkiye, çay üretiminin tamamına yakını iç piyasada tüketmekte ve sembolik düzeyde ihracat yapmaktadır. Dolayısıyla, tüketim yönünden dünyanın en büyük üçüncü pazarı konumundadır.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma birincil ve ikincil verilerden oluşmaktadır. Araştırmada kullanılan birincil veriler aşağıdaki formüle göre hesaplanan anketlerden elde edilmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2020 yılı verilerine göre Türkiye nüfusu 83.614.000 kişi olarak belirtilmiştir (TÜİK, 2020). Bu hedef kitlede % 95 güven aralığında $\alpha=0.05$ için t değeri 1.96’dır. Araştırmada olayın gerçekleşme olasılığı en yüksek anket sayısına ulaşabilmek için (p) ve gerçekleşmeme olasılığı (q) eşit ve 0.50 olarak kabul edilmiştir. Buna göre;

$$n = \frac{(83.614.000) \times (1,96)^2 \times (0,5) \times (0,5)}{((0,05)^2 \times (83.614.000 - 1) + (1,96)^2 \times (0,5) \times (0,5))} = 383$$

Buna göre araştırma kapsamında Türkiye genelinde online olarak minimum 383 tane anket yapılmasına karar verilmiştir. Anket aşaması sonucunda, 476 adet geçerli anket yapılmıştır.

Bu araştırma kapsamında online anket yöntemi ile elde edilen birincil verilerin değerlendirilmesinde temel istatistikî yöntemler ile değerlendirilmiştir. Bu verilerin değerlendirilmesinde; sayı, yüzde gibi temel yöntemlerden yararlanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Araştırma kapsamındaki çay tüketicilerinin demografik özellikleri

Araştırmaya katılan kişilerin yaşadıkları bölgelere göre dağılımları Çizelge 3’de verilmiştir. Buna göre tüketicilerin %41,0’i Marmara Bölgesinde, % 27,4’ü Ege Bölgesinde, %

11,6'i Akdeniz Bölgesinde, % 6,0'sı İç Anadolu Bölgesinde, %2,2'si Karadeniz Bölgesinde yaşamaktadır.

Çizelge 3. Araştırmaya Katılan Kişilerin Bölgelere Göre Dağılımı (%)

Bölgeler	Sayı	Yüzde (%)
Marmara Bölgesi	205	41,0
Ege Bölgesi	137	27,4
Akdeniz Bölgesi	58	11,6
İç Anadolu Bölgesi	30	6,0
Karadeniz Bölgesi	11	2,2
Doğu Anadolu Bölgesi	9	1,8
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	2	0,4
Diğer	2	0,4
Cevap yok	22	4,4
Toplam	476	100,0

Araştırmaya katılan kişilerin cinsiyetlerine göre dağılımları Çizelge 4'de verilmiştir. Buna göre araştırmaya katılan kişilerin % 41,8'i erkek ve % 52,8'i kadındır.

Çizelge 4. Araştırmaya Katılan Kişilerin Cinsiyetlerine Göre Dağılımı (%)

Cinsiyet	Sayı	Yüzde (%)
Erkek	199	41,8
Kadın	277	58,2
Toplam	476	100,0

Araştırmaya katılan tüketicilerin yaş aralıklarına göre dağılımı Çizelge 5'de görülmektedir. Buna göre ankete katılanların % 2,5'i 18 yaş ve altı, % 60,0'ı 18-25 yaş arasında, % 12,2'si 29-38 yaş aralığında, % 18,5'i 39-48 yaş aralığında, % 5,2'si 49-58 yaş aralığında ve % 1,6'sı 59 yaş ve üzerindedir.

Çizelge 5. Araştırmaya Katılan Kişilerin Yaş Aralıklarına Göre Dağılımı (%)

Yaş Aralığı	Sayı	Yüzde (%)
-------------	------	-----------

18 Yaş Altı	12	2,5
18-28 Yaş	285	60
29-38 Yaş	58	12,2
39-48 Yaş	88	18,5
49-58 Yaş	25	5,2
59 Yaş ve üzeri	8	1,6
Toplam	476	100,0

Araştırmaya katılan kişilerin hanede yaşadıkları kişi sayısına göre dağılımları Çizelge 6'da verilmiştir. Buna göre 1-2 kişi yanıtını veren % 18,6, 3-4 kişi yanıtını veren % 64,5, 5-6 kişi yanıtını veren % 15,5 ve 7 kişi ve üzeri yanıtını veren % 1,6'dır.

Çizelge 6. Araştırmaya Katılan Kişilerin Hanede Yaşadıkları Kişi Sayısına Göre Dağılımı (%)

Kişi Sayısı Aralığı	Sayı	Yüzde (%)
1-2 Kişi	89	18,6
3-4 Kişi	305	64,5
5-6 Kişi	74	15,5
7 Kişi ve üzeri	8	1,6
Toplam	476	100,0

Araştırmaya katılan tüketicilerin medeni hallerine göre dağılımları Çizelge 7'de verilmiştir. Buna göre bekar yanıtını veren tüketicilerin oranı % 66,8 ve evli yanıtını verenlerin % 33,2'dir.

Çizelge 7. Araştırmaya Katılan Kişilerin Medeni Hallerine Göre Dağılımı (%)

Medeni hal	Sayı	Yüzde
Bekar	318	66,8
Evli	158	33,2
Toplam	476	100,0

Araştırmaya katılan kişilerin eğitim durumlarına göre dağılımı Çizelge 8’de görülmektedir. Buna göre araştırma kapsamındaki tüketicilerin % 0,4’ü sadece okur yazar, % 7,3’ü ilkokul mezunu, % 0,2’si ortaokul mezunu, % 21,4’ü lise, % 64,3’ü üniversite, % 5,7’si yüksek lisans ve % 0,6’sı ise doktora mezunudur.

Çizelge 8. Araştırmaya Katılan Kişilerin Eğitim Durumlarına Göre Dağılımı (%)

Eğitim durumu	Sayı	Yüzde
Sadece okuryazar	2	0,4
İlkokul mezunu	35	7,3
Ortaokul mezunu	1	0,2
Lise mezunu	102	21,4
Üniversite	306	64,3
Yüksek lisans	27	5,7
Doktora	3	0,6
Toplam	476	100

Araştırmaya katılan kişilerin aylık şahsi gelir aralıklarına göre dağılımı Çizelge 9’da verilmiştir. Buna göre 1.000 TL ve altında yanıtı verenlerin oranı % 29,9, 1.000 TL – 2.000 TL arasında yanıtı verenlerin oranı 59,5, 2.001 TL - 3.000 TL arasında yanıtı verenlerin oranı % 12,2, 3.001 TL - 4.000 TL arasında yanıtı verenlerin oranı % 8,8, 4.001 TL - 5.000 TL arasında yanıtı verenlerin oranı % 13,9, 5.001 TL ve üzeri yanıtı verenlerin oranı % 16,8 ve belirtmek istemiyorum diyenlerin oranı ise % 9,2’dir.

Çizelge 9. Araştırmaya Katılan Kişilerin Aylık Şahsi Gelirine Göre Dağılımı (%)

Gelir	Sayı	Yüzde
1.000 TL ve altında	141	29,6
1.001 TL-2.000 TL arasında	45	9,5
2.001 TL-3.000 TL arasında	58	12,2

3.001 TL-4.000 TL arasında	42	8,8
4.001 TL-5.000 TL arasında	66	13,9
5.001 TL ve üzeri	80	16,8
8.001 TL-10.000 TL arasında	64	13,4
Belirtmek istemiyorum	18	3,8
Toplam	476	100

4.2. Araştırma Kapsamındaki Tüketicilerin Çay Tüketime Alışkanlıklarına Dair

Bulgular

Ankete katılan kişilerin "Siyah çay içme sıklığınız nedir?" sorusuna verdiği yanıtlar Çizelge 10'da görülmektedir. Buna göre; "Her gün" yanıtını veren katılımcıların oranı % 77,1, "Haftada birkaç kez" yanıtını veren katılımcıların oranı % 13,7, "Haftada bir kez" yanıtını veren katılımcıların oranı % 2,5, "Daha nadir" yanıtını veren katılımcıların oranı % 4, "Hiç" yanıtını veren katılımcıların oranı % 2,7'dir.

Çizelge 10. Türkiye'deki Siyah Çay Tüketicilerinin Siyah Çay Tüketme Sıklıkları (%)

Sıklık	Sayı	Yüzde (%)
Her gün	367	77,1
Haftada birkaç kez	65	13,7
Haftada bir kez	12	2,5
Daha nadir	19	4,0
Hiç	13	2,7
Toplam	476	100,0

Ankete katılan tüketicilerin "Hanenizde aylık siyah çay tüketimi tahminen ne kadardır?" sorusuna verdiği yanıtlar Çizelge 11'de görülmektedir. Buna göre; "50 gr veya altı" yanıtını veren katılımcıların oranı % 4, "51-500 gr arası" yanıtını veren katılımcıların oranı % 36,6, "501- 1000 gr arası" yanıtını veren katılımcıların oranı % 28,4, "1001- 2000 gr arası" yanıtını veren katılımcıların oranı % 14,5, "2001 gr ve üzeri" yanıtını veren katılımcıların oranı % 6,3, "Bilmiyorum" yanıtını veren katılımcıların oranı % 10,3'tür.

Çizelge 11. Türkiye’deki Siyah Çay Tüketicilerinin Aylık Siyah Çay Tüketim Miktarları

Tüketim Miktarı	Sayı	Yüzde (%)
50 gr veya altı	19	4,0
51-500 gr arası	174	36,6
501-1000 gr arası	135	28,4
1001-2000 gr arası	69	14,5
2001 gr ve üzeri	30	6,3
Bilmiyorum	49	10,2
Toplam	476	100,0

Ankete katılan 476 kişinin "Günde yaklaşık kaç standart boy (100 ml) çay bardağı siyah çay tüketirsiniz?" sorusuna verdiği yanıtlar Çizelge 12’de görülmektedir. Buna göre; "Hiç" yanıtını veren katılımcıların oranı % 3,6, "1 Bardaktan az" yanıtını veren katılımcıların oranı % 2,1, "1- 5 Bardak arası" yanıtını veren katılımcıların oranı % 56,5, "6-10 Bardak arası" yanıtını veren katılımcıların oranı % 30,3, "11 Bardak ve üzeri" yanıtını veren katılımcıların oranı % 7,6’dır.

Çizelge 12. Türkiye’deki Siyah Çay Tüketicilerinin Günlük Siyah Çay Tüketim Durumu (%)

Çay Bardağı	Sayı	Yüzde (%)
Hiç	17	3,6
1 Bardaktan az	10	2,1
1-5 Bardak arası	269	56,5
6-10 Bardak arası	144	30,3
11 Bardak ve üzeri	36	7,5
Toplam	476	100,0

Ankete katılan tüketicilerin, "Tercih ettiğiniz siyah çay markaları nelerdir?" sorusuna verdiği yanıtlar Çizelge 13'de görülmektedir. Buna göre; Çaykur markası için "Tercih Ediyorum" yanıtını veren katılımcıların oranı % 77,3, Lipton markası için "Tercih Ediyorum" yanıtını veren katılımcıların oranı % 32,1'dir. Doğuş markası için "Tercih Ediyorum" yanıtını veren katılımcıların oranı % 22,7 iken Ofçay markası için "Tercih Ediyorum" yanıtını veren katılımcıların oranı % 9.0'dur.

Çizelge 13. Türkiye'deki Siyah Çay Tüketicilerinin Tercih Kriterlerine Göre Dağılımı (%)

Marka	Tercih Ediyorum		Bazen		Tercih Etmiyorum	
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
Çaykur	368	77,3	83	17,4	25	5,3
Lipton	153	32,1	191	40,1	132	27,8
Doğuş	108	22,7	175	36,8	193	40,5
Ofçay	43	9,0	103	21,7	330	69,3
Berkçay	16	3,3	56	11,8	404	84,9
Obaçay	8	1,7	46	9,6	422	88,7
Diğer	40	8,4	95	20,0	341	71,6

Ankete katılan kişilerin, "Mevsimlere göre çay tüketiminiz nasıldır?" sorusuna verdiği yanıtlar Çizelge 14'de görülmektedir. Buna göre; Kış mevsiminde "Artar" yanıtını veren katılımcıların oranı 62,2, "Azalır" yanıtını veren katılımcıların oranı %0,6, "Değişmez" yanıtını veren katılımcıların oranı %37,2, Sonbahar mevsiminde "Artar" yanıtını veren katılımcıların oranı 30,5, "Azalır" yanıtını veren katılımcıların oranı %2,3, "Değişmez" yanıtını veren katılımcıların oranı 67,2, Yaz mevsiminde "Artar" yanıtını veren katılımcıların oranı 6,9, "Azalır" yanıtını veren katılımcıların oranı %47,3, "Değişmez" yanıtını veren katılımcıların oranı 45,8, İlkbahar mevsiminde "Artar" yanıtını veren katılımcıların oranı 8,6, "Azalır" yanıtını veren katılımcıların oranı 16,4, "Değişmez" yanıtını veren katılımcıların oranı %75'tir.

Çizelge 14. Türkiye’deki Siyah Çay Tüketicilerinin Mevsimlere Göre Tercih Dağılımları (%)

Mevsim	Artar		Azalır		Değişmez	
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
Kış	296	62,2	3	0,6	177	37,2
Sonbahar	145	30,5	11	2,3	320	67,2
Yaz	33	6,9	225	47,3	218	45,8
İlkbahar	41	8,6	78	16,4	357	75

Araştırma kapsamındaki katılan kişilerin siyah çayı genellikle nasıl içersiniz sorusuna verdikleri cevaplar Çizelge 15’de görülmektedir. Buna göre % 86,3 demleme tüketirken % 2,3 ise sallama içmektedir.% 14,1 gibi bir oran ise her iki şekilde içtiklerini belirmişlerdir.

Çizelge 15. Türkiye’deki Siyah Çay Tüketicilerinin Tercihlerine Göre Dağılımı (%)

	Sayı	Yüzde
Demleme	398	83,6
Her ikisi	67	14,1
Sallama	11	2,3
Toplam	476	100,0

Araştırma kapsamındaki kişilerin siyah çayı nasıl tercih edersiniz sorusuna verilen

yanıtlar Çizelge 16’da görülmektedir. Buna göre %30,5 şekerli içtiklerini söylerken %60,5 şekersiz içtiklerini belirtmiş diğer % 9,0 ise değiştiğini söylemiştir.

Çizelge 16. Türkiye’deki Tüketicilerin Çayı Şekerli İçme Durumlarına Göre Dağılımı (%)

	Sayı	Yüzde
Şekerli	145	30,5
Şekersiz	288	60,5
Değişiyor	43	9,0
Toplam	476	100.0

Araştırma kapsamındaki tüketicilerin siyah çay içme zamanlarına göre dağılımı Çizelge 17’de verilmiştir. Buna göre çay en çok kahvaltıda, akşam ve yemek sonraları tercih edilmektedir.

Çizelge 17. Türkiye’deki Tüketicilerin Siyah Çay İçme Zamalarına Göre Dağılımı (%)

	Kahvaltı		Ana Yemekte		Yemeğin Üzerine		Akşamüzeri		Akşam		Saate Bağlı Olmaksızın	
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
Kesinlikle içerim	376	79,0	56	11,8	202	42,4	120	25,2	235	49,4	118	24,8
Bazen	93	19,5	223	46,8	211	44,3	246	51,7	181	38,0	223	46,8
Kesinlikle içmem	7	1,5	197	41,4	63	13,2	110	23,1	60	12,6	135	28,4
Toplam	476	100,0	476	100,0	476	100,0	476	100,0	476	100,0	476	100,0

Araştırma kapsamında tüketicilerin siyah çay satın aldıkları yerlere göre dağılımı Çizelge 18’de verilmiştir. Buna göre tüketicilerin çoğunluğu (%89,3) marketlerden çay almayı

tercih etmektedir.

Çizelge 18. Türkiye’deki Siyah Çay Tüketicilerin Çay Satın Aldıkları Yere Göre Dağılımları (%)

	Sayı	Yüzde
Bakkal	348	7,1
Market	425	89,3
Online market	5	1,1
Online alışveriş siteleri	2	0,4
Diğer	10	2,1
Toplam	476	100,0

Araştırma kapsamındaki tüketicilerin siyah çay alırken satın alma kararına etki edebilecek olan kriterlere Çizelge 19’da verilmiştir. Buna göre en önemli değişkenin marka olduğu görülmektedir. Markadan sonra en önemli değişken ise tat olarak belirlenmiştir. Fiyat ise üçüncü sırada gelmektedir. Ambalaj, tüm bu değişkenler arasında önem sırasında sondadır.

Çizelge 19. Türkiye’deki Tüketicilerin Siyah Çay Satın Almasında Etkili Olan Kriterlere Göre Dağılımı (%)

	FİYAT		MARKA		TAT		AMBALAJ	
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
Çok önemli	111	23,3	247	51,9	345	72,5	90	18,9
Çok önemsiz	11	2,3	1	0,2	1	0,2	16	3,4
Ne önemli ne de önemsiz	79	16,6	30	6,3	14	2,9	136	28,6
Önemli	229	48,1	190	39,9	113	23,7	132	27,7
Önemsiz	46	9,7	8	1,7	3	0,6	102	21,4
Toplam	476	100,0	476	100,0	476	100,0	476	100,0

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Türkiye genelinde yapılan bu çalışmada, çayın Türk halkı için önemli bir içecek olduğu bilimsel olarak ortaya konulmuştur. Araştırmanın öne çıkan sonuçlarına göre tüketicilerin % 77,1’i her gün siyah çay içmektedir. Araştırma kapsamındaki tüketicilerin %

56,5'i günde 1 ile 5 çay bardağı arasında, % 30,3'ü ise 6 ile 10 bardak arasında çay tüketmektedir. Araştırma kapsamındaki tüketiciler, en çok Çaykur marka çay tercih etmektedirler. Tüketicilerin % 83,6'sı demleme yöntemi ile demlenen çay tüketmeyi tercih etmektedir. Araştırma kapsamındaki tüketicilerin % 60,5'i çaylarını şekerless tercih ederken, % 30,5'i şeker ilave etmektedir. Çay tüketimde mevsimin çok önemli olduğu, kış ve sonbahar gibi soğuk mevsimlerde çay tüketimin fazlayken yaz ve ilkbahar gibi mevsimlerde çay tüketiminin azaldığı anlaşılmıştır. Türk halkını dörtte üçünün kahvaltıda kesinlikle çay içtiğini vurgulamıştır. Araştırmaya katılanların yüksek bir çoğunluğu çayı marketlerden temin etmektedir. Tüketiciler açısından önemli kriterler sırasıyla tat ve marka olarak belirlenmiştir. Elde edilen verilerden yola çıkarak, çay neredeyse her gün pek çok insan tarafından sıklıkla tüketilen bir içecektir. Halka ulaşabilmek adına da önemli bir araç olduğu görülmektedir. Bu nedenle kamu yararına düzenlenecek etkinliklerde çay ikramının yapılması, halkın ilgisini çekmekte ve katılımı artırmada faydalı olabilecektir.

KAYNAKÇA

- Alikılıç D., (2016). Çay'ın Karadeniz Bölgesi için Önemi ve Tarihi Seyri. Karadeniz İncelemeleri Dergisi, (21): 269-280.
- Cengiz, S., & Okan, Y. T. (2021). Tüketicilerin İthal Çay Tüketim Tercihlerinin Belirlenmesi: Güneydoğu Anadolu Bölgesi Örneği. Güncel Pazarlama Yaklaşımları Ve Araştırmaları Dergisi, 2(2), 84-97. <https://doi.org/10.54439/gupayad.989617>
- Çalışır, G., Türkal, İ., Türten, B., Kütükoğlu, E., et al. (2019). Çay İçme Kültürünün Kişilerarası İletişime Katkısı. Mavi Atlas, 7(2), 54-87. <https://doi.org/10.18795/gumusmaviatlas.586232>
- Dünya Bankası, (2021). <https://www.worldbank.org/tr/country/turkey>
- FAO, 2019. <http://www.fao.org/home/en/>
- Kılıç O., Gündüz O., Aydın Eryılmaz G., Emir M., (2012). Çay Tüketiminde Tüketici Davranışlarının Belirlenmesi: Samsun İli Örneği. HR.Ü.Z.F. Dergisi (Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi), 16(4): 19-25.
- Kılıç, O., Gündüz, O., Eryılmaz, G., Emir, M. (2014). Çat Tüketici Davranışlarının Belirlenmesi: Samsun İli Örneği. Harran Tarım Ve Gıda Bilimleri Dergisi, 16(4), 19-

25.

- Tandoğan, H. S., & Zencir Çiftçi, E. (2024). Gençlerin Çay Tüketim Tercih Motivasyonları: Anadolu Üniversitesi Örneği. *Anadolu Üniversitesi Mesleki Eğitim Ve Uygulama Dergisi*, 2(2), 20-35.
- Önçirak M., (2019). Çay Sektörü ve Türkiye Ekonomisi. Yüksek Lisans Tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı İktisat Bilim Dalı. Bursa.
- Öztürk D., (2019). Çay Sektöründe Yeni Ürün Geliştirilmesine Yönelik Tüketicilerin Satın Alma Davranışlarının İncelenmesi: Samsun İlinde Bir Uygulama. *SETSCI Conference Proceedings*, 4(8), 152-158.
- Saklı A.R., (2019). Türk Çay Sektöründe Yasal Gelişim ve 1984 Serbestleşmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 14(2): 511-534.
- Sayılı M., Gözener B., (2013). Trabzon İli Of İlçesinde Ailelerin Çay Tüketim Durumu ve Alışkanlıkları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(2): 1-7.
- STATISTICA, (2021). <https://www.statista.com/>
- TÜİK, (2020). <https://www.tuik.gov.tr/>
- TÜİK, (2021). <https://www.tuik.gov.tr/>
- Uzundumlu A.S., Karayar S., Kurtoğlu S., Ertek N., (2019). Çay Üretiminde Üretici Geliri ve Verimi Artırmaya Yönelik Bir Araştırma: Artvin İli Örneği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(3): 363-371.
- Yılmaz S., (2019). Çay Üretiminin Ekonomik Analizi: Rize İli Kalkandere İlçesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı. Tekirdağ.
- Yıldız, S., & Koçan, M. (2021). Tüketicilerin Marka İmajı ve Marka Sadakati Algılarını Etkileyen Faktörler: Çay Tüketicileri Üzerine Bir Uygulama. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(1), 59-69. <https://doi.org/10.36362/gumus.818053>
- Yıldız Telatar G., (2019). Siyah Çay Tüketim Sıklığının Ağız ve Diş Sağlığına Etkisi. *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim*



Dalı. Rize.

Türkiye Çay Değerlendirme Raporu, 2020. Erişim Linki: <https://www.tarimorman.gov.tr/>,

Erişim Tarihi: 10.05.2021

İRAN'IN KUZEY BÖLGESİNDE İKLİM KRİZİNİN ZAMANSAL/MEKÂNSAL ANALİZİ

Sahar RAVESHI

Atatürk Üniversitesi

sraveshi94@gmail.com - 0009-0001-7680-4115

Prof. Dr. Hanefi BAYRAKTAR

Atatürk Üniversitesi

hanefib@atauni.edu.tr - 0000-0002-4729-5593

ÖZET

Sanayi devrimi ile birlikte dünya ciddi çevre sorunlarıyla yüz yüzedir. Bu sorunların en güncel ve en büyüğü ise Hava Kirliliğine bağlı tetiklenen İklim Krizidir. Son 100 yılda dünyamız artan CO₂ ve diğer sera gazları sebebiyle ortalama 2°C ye yakın ısınmış ve bu süreç halen devam etmektedir. Bu amaçla literatürde dünyanın değişik alanlarında İklim krizi ile ilgili çeşitli bilimsel çalışmalar yapılmakta ve yayınlanmaktadır. Literatürde yapılan bazı çalışmalarda çeşitli meteorolojik parametrelerin (sıcaklık, yağış vb.) alansal ve zamansal değişimleri incelenmekte ve elde edilen bulgular ışığında sonuçlar irdelenmektedir. Zamansal değişim çalışmalarında, meteorolojik parametrelere çeşitli trend analizi (Mann-Kendall Testi, Şen'in Eğim Tahmin Yöntemi vb.) yöntemleri uygulanarak iklim krizi probleminin geçmişi, bugünü ve geleceği hakkında çeşitli sonuçlara ulaşılmaktadır Diğer yandan, çeşitli meteorolojik parametrelerin alansal değişimlerinin belirlenmesinde ise literatürde çeşitli jeoistatistiksel yöntemler (Kriging, Bayes Tahmini, Sonlu Farklar Yöntemi vb.) uygulanmaktadır

Bu çalışmada literatürde ilk kez Jeoistatistiksel analiz temelli Kriging yaklaşımınca bir bölgede herhangi bir parametrenin (yıllık ortalama sıcaklık) mekânsal ve zamansal ortalama değişimi dikkate alınarak izlenen olayın (iklim krizi) zamansal/mekânsal değişimi irdelenmiştir. Bu amaçla İran'ın kuzey bölgesinde bulunan üç ilin (Golestan, Mazenderan ve Gilan) meteorolojik parametrelerinden, 1995, 2005, 2015 ve 2023 yıllarına ait olan yıllık ortalama sıcaklık kontürlerinin mekansal dağılımı Kriging yöntemi-ArcGis yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir.

Elde edilen bulgular ışığında yıllık ortalama sıcaklık kontürlerinin İran'ın Kuzey bölgesinde yıldan yıla çalışma bölgesinin Kuzey-Batı taraflarına doğru kaydığını göstermekte ve gelecek yıllarda bu bölgenin daha da ısınacağına işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler : İklim Krizi, Jeoistatistik, Zamansal/mekânsal Analiz, Meteorolojik parametre, İran

SPATIAL/TEMPORAL ANALYSIS OF CLIMATE CRISIS IN NORTHERN IRAN

ABSTRACT

With the industrial revolution, the world is faced with serious environmental problems. The most recent and biggest of these problems is the Climate Crisis triggered by Air Pollution. In the last 100 years, our world has warmed by an average of 2oC due to increasing CO₂ and other greenhouse gases, and this process is still ongoing. For this purpose, various scientific studies are being conducted and published in the literature in different parts of the world regarding the Climate Crisis. In some studies conducted in the literature, spatial and temporal changes of various meteorological parameters (temperature, precipitation, etc.) are examined and the results are examined in the light of the findings obtained. In temporal change studies, various trend analysis methods (Mann-Kendall Test, Şen's Slope Estimation Method etc.) are applied to meteorological parameters to reach various conclusions about the past, present and future of the climate crisis problem. On the other hand, various geostatistical methods (Kriging, Bayesian Estimation, Finite Difference Method etc.) are applied in the literature to determine the areal changes of various meteorological parameters.

In this study, for the first time in the literature, the temporal/spatial change of the event (climate crisis) monitored by considering the spatial and temporal average change of any parameter (annual average temperature) in a region by the geostatistical analysis-based Kriging approach was examined. For this purpose, the spatial distribution of annual average temperature contours of meteorological parameters of three provinces (Golestan, Mazandaran and Gilan) located in the northern part of Iran for the years 1995, 2005, 2015 and 2023 were analyzed using the Kriging method-ArcGis software.

In the light of the findings, it is shown that the annual average temperature contours in the northern part of Iran are shifting towards the north-west of the study area from year to year and this region will warm up even more in the coming years.

Keywords : Climate Crisis, Geostatistics, Temporal/spatial Analysis, Meteorological Parameter, Iran

1. Giriş

Günümüzde sanayi ve nüfus artmasıyla birlikte meydana gelen küresel ısınma ve sonucu olan iklim ve iklim değişikliği ciddi bir şekilde çevreyi, su kaynaklarını ve gıda güvenliğini etkilemektedir (Tavangar vd 2019). Küresel ısınma sanayi devriminden itibaren fosil yakıt kullanımının ve dolayısıyla atmosferdeki sera gazlarının ve özellikle CO₂ miktarının artmasıyla meydana gelmiştir (Edemen vd 2023). Yayımlanan raporlara göre küresel sıcaklığın 1,5 °C artması dünya çapında (kuzey Afrika ve Güney Avrupa vs) yeraltı su kaynaklarının ve aynı zamanda Akdeniz bölgesinde de yağışların ciddi şekilde azalmasına sebebiyet verecektir (IPCC 6).

Literatürde çeşitli meteorolojik parametrelerin zamansal trendini geçmişten ta günümüze kadar değişimi, farklı yöntemler kullanarak izlenmiştir. Hidro-Meteorolojik parametrelerin zaman serisinde trendi olup olmadığını belirlemek için parametrik ve parametrik olmayan yöntemler literatürde bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birisi Mann-Kendall trend analiz testidir. Parametrik olmayan testler; normal dağılıma sahip olmayan veri setlerine uygulanmaktadır (Kousari vd 2013).

Diğer yandan, literatürde meteorolojik verilerin alanda veya herhangi bir havzada mekansal dağılımını incelemek için jeoistatistiksel yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri, Kriging based approach yöntemidir ki interpolasyon yoluyla değeri belli olmayan verileri hesaplamaktadır. İnterpolasyon kendi içinde iki gruba ayrılmakta olup Jeostatistiksel ve Deterministik yöntemler olarak gruplandırılmaktadır (<https://srs-gis.ir/interpolation-methods-in-gis/>).

Bu çalışmada ilk kez İran'ın kuzey bölgesinde bulunan üç ilin (Gilan, Mazenderan ve Golestan), 1995, 2005, 2015 ve 2023 yıllık ortalama sıcaklığın yıldan yıla mekansal dağılımı izlendi. Çalışma alanı konum olarak yaklaşık 36 ile 38 kuzey enlem ve 49 ile 56 doğu boylamında yer almaktadır (Şekil 1). Bu alan aynı zamanda Alborz sıradağları ve Hazar denizi kıyı şeridinde uzanmaktadır (Baghideh vd 2019). Bu çalışmada meteorolojik veriler <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> web sitesinden alınmıştır. Çalışmada istasyonların günlük ortalama sıcaklık verilerinin her yıl için hesaplanıp dağılımları izlenmiştir. Bu dağılımları haritalamak için öncelikle Arcgis (10.8.1 versiyonu) programında çalışma alanın dijitalleştirilmiş haritası yüklenip onun üzerine istasyonların koordinatları ve 1995, 2005, 2015 ve 2023 yıllarına ait olan günlük ortalama sıcaklık ortalamasından oluşan veri dosyası (CSV) yüklenmiştir. İstasyonların konumu belirlendikten sonra interpolasyon metodlarından biri olarak Ordinary Kriging ve semivariyogram modellerinden ise Spherical modeli kullanılmıştır. Kontür çizimlerinde renk tonları, minimum ve maksimum sıcaklık arasındaki farka bakarak yaklaşık 1°C aralıklarla belirlenmiş ve en son bölgenin yıllık ortalama sıcaklık kontörü farklı bir renk (Turkuaz rengi) ile renklendirilmiştir.



Görsel 1. İlgili istasyonların konumu (Anonym)

2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada meteorolojik verilerin mekansal dağılımını kestirmek için jeostatistik yöntemlerden olan Ordinary Kriging kullanılmıştır. Kriging yöntemi madencilik mühendisi Daniel Krig tarafından ortaya çıkan bir yaklaşım ki mekansal interpolasyon ile maden cevheri dağılımının arasındaki ilişki üzerine çalışmaktadır (Doğan 2019). Bu yöntem bilgisel değişkenler ve variogram fonksiyonunu esas alarak ilk defa güney Afrika maden yataklarında 1951 yıllarında Krig tarafından uygulanmıştır (Baltacı 2007). Ordinary Kriging yöntemi; oldukça güvenilir olması, veri setine sabit varyans varsayması ve kriging ağırlıklarının ortalaması bir e eşit olması (Kasa 2021) açısından tercih edilmiştir.

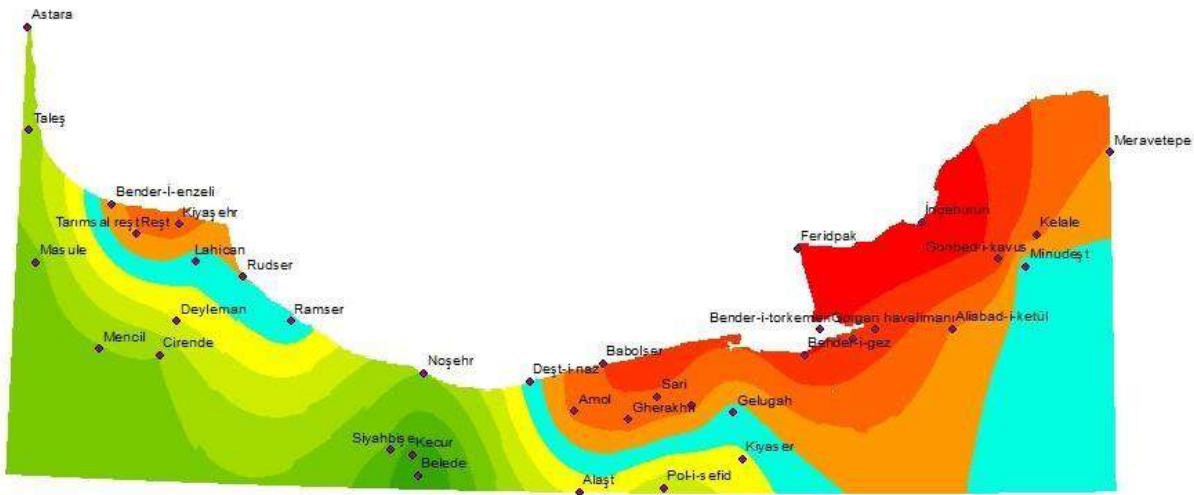
Trend analizi ile ilgili İran'da yapılmış çeşitli bilimsel çalışmalar bulunmaktadır. Şarifi vd (2020), İran genelinde bulunan 47 synoptic istasyona ait 66 yıllık (1951-2017) verileri üzerine trend eğimini belirlemek için Linear Regression kullanmışlar ve sonuç olarak yağış veri serisine azalan trend, sıcaklık verilerine ise artan trend belirlemişlerdir. Diğer bir çalışmada, İran'da 50 yıllık (1961-2019) maksimum yağış verilerinin zamansal ve mekansal analizleri sonucunda ülkenin güney taraflarında artan trend ve kuzey taraflarında özellikle Hazar denizi şeridinde azalan trendi elde etmişlerdir. Bu çalışmada verileri 5 seriye ayırıp ArcGis ve Matlab yazılımları kullanılmış (Dargahiyan vd 2021). Fathi vd 1995-2019 yılları arasında İran'ın iklim sınıflandırmasının mekansal/zamansal analizini yağış ve sıcaklık parametrelerinin üzerine De Martonne, Kriging ve Mann-Kendall yöntemi ile geçmiş çalışmaları da dikkate alarak çalışmışlar ve İran'ın 6 farklı iklime sahip olması sonucuna varmışlardır. Diğer yandan kurak ve yarı kurak iklime sahip bölgelerin eskilere göre daha da artmasını ve Mann-Kendall testin sonucunda çalışma alanında 8 istasyonda azalış ve 7sinde ise artış olduğunu belirlemişlerdir. 2021 yılında yapılan başka bir çalışmaya göre, mevsimsel ve yıllık trend analizi sonucu İran'ın genelinde bulunan 47 istasyonda yaklaşık %83 artan trend gösterirken kalan %17si azalan tren

göstermiştir. Bu çalışmada Mann-Kendall trend testi, Senin eğim tahmini ve Linear Regression yöntemlerini kullanılmıştır. Analiz edilen veriler çalışma alanında 1960-2019 yıllarına aittir (Mehdi ve Mokhtar, 2021).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma İran'ın kuzey bölgesinde bulunan Gilan, Mazenderan ve Golestan illerinde bulunan meteorolojik istasyonların günlük sıcaklık ortalaması üzerine yapıldı. 1995, 2005, 2015 ve 2023 yıllarına ait günlük ortalama sıcaklık Nasa Power websitesi, POWER Projesi'nin Hourly 2.4.3 versiyonundan 2024/10/08 tarihinde indirilmiştir. Elde edilen verilerin yıllık ortalaması hesaplanıp kontürler ArcGis (10.8.1 versiyonu) yazılımınca çizildi. Çizilen haritada her kontür (her renk tonu) yaklaşık 1°C sıcaklığı göstermektedir. Bunlara ilaveten, bölgenin yıllık sıcaklık ortalamasını izlemek için tekrar bölgenin tamamı için bir ortalama hesaplandı ve kontürü farklı renk ile çizildi (Turkuaz renkli kontür). Böylece çalışma alanında ortalama sıcaklık kontürünün yıldan yıla değişimi irdelendi. Kontürün yıldan yıla bir tarafa kayması o bölgenin sıcaklığının daha çok artması anlamına gelirken, sabit kalması da bölgede sıcaklığın, ya hiç değişmemesi veya homojen değişmesi anlamına gelmektedir.

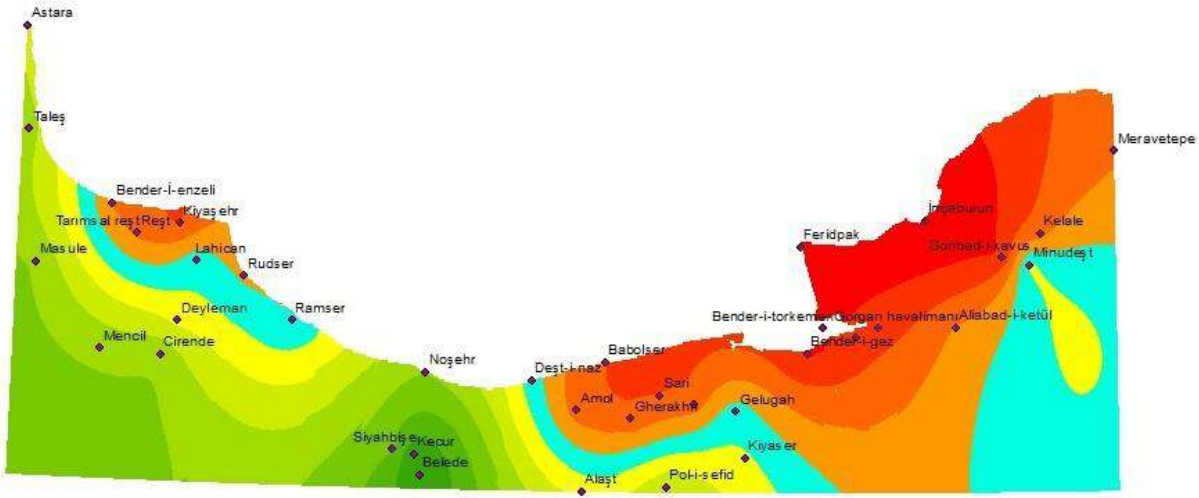
Elde edilen sonuçlara göre, 1995 yılında sıcaklık yoğunluğu kuzey doğu istasyonlarında yani İnçeburun, Feridpak, Bender-i-torkemen ve Bender-i-gez istasyonlarında görülmektedir. İstasyonlardan Gonbed-i-kavus, Gorgan havalimanı, Haşemabad-i-gorgan, ve Babolser ikinci derece sıcaklıkta görülmektedir. Üçüncü tonda ise Kelale, Aliabad-i-keül, Sari, Gherakhil, Amol ve Kiyaser üçüncü en sıcak istasyonları göstermektedir. Ayrıca, Bölgenin yıllık ortalama sıcaklığı bölgenin güney doğu tarafında daha çok artmasını göstermektedir. Görsel 2'ye göre doğu taraftaki istasyonlarından Minudeşt, Gelugah ve Deşt-i-naz'da ve kuzey batı taraftaki istasyonlardan, Ramser, Rudser ve Lahican istasyonlarında sıcaklık miktarı artmıştır.



Görsel 16. 1995 yılında bölgenin yıllık ortalama sıcaklık dağılımı

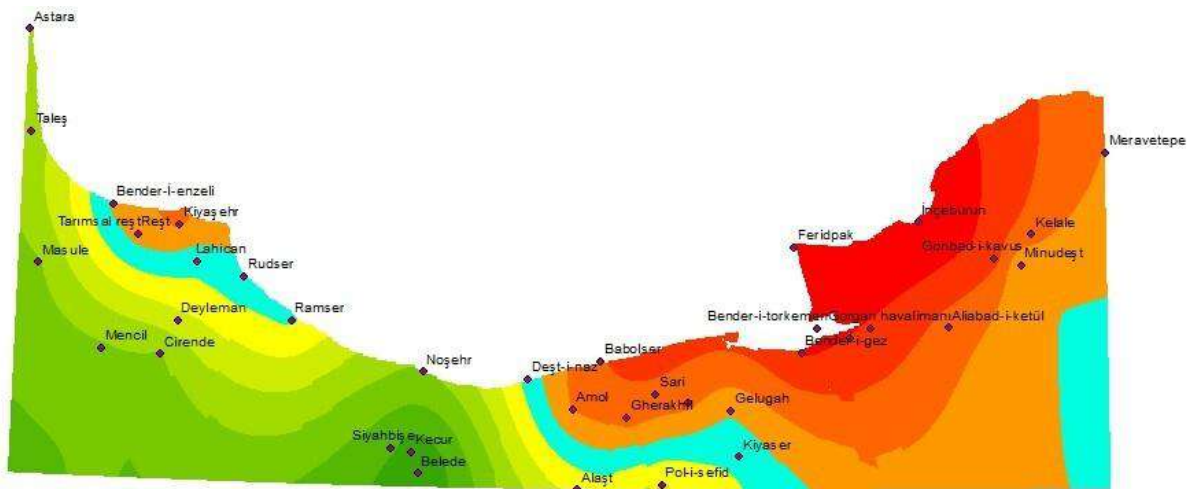
2005 yılında İnçeburun, Feridpak, Bender-i-torkemen ve Bender-i-gez kuzey doğu tarafta bölgenin en sıcak istasyonlarından olarak görüntülendi. İkinci derece sıcaklıkta gelen

istasyonlar Gonbed-i-kavus, Gorgan havalimanı ve Haşemabad-i-gorgan ve Kiyaşehr olarak gelmektedir. Üçüncü grubta Meravetepe, Kelale, Aliabad-i-ketül , Sari, Gherakhil, Amol, Babolser, Bender-i-enzeli, Reşt ve Tarımsal reşt gelmektedir. Bu yılda bölgenin ortalama sıcaklığı Görsel 3’de görüldüğü gibi doğudan batıya sırasıyla Minudeşt, Gelugah, Deşt-i-naz, Ramser ve Lahican istasyonlarından geçiyor. Bu yılda bölgenin ortalama sıcaklığı diğer yıllara göre kuzey batıya doğru kayması görülmektedir.



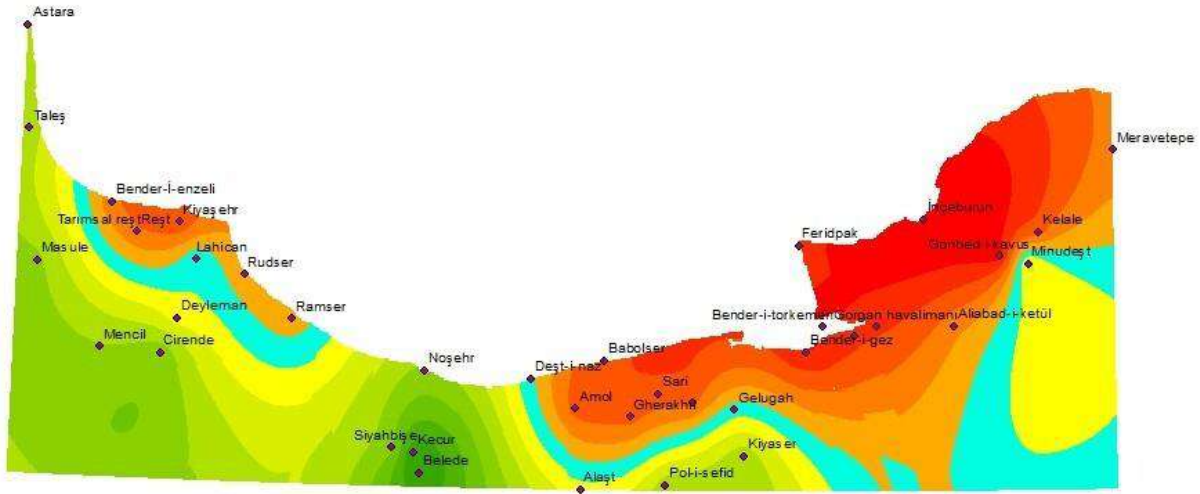
Görsel 3. 2005 yılında bölgenin yıllık ortalama sıcaklık dağılımı

2015 yılında çizilen kontürlere göre (Görsel 4) İnçeburun, Feridpak, Bender-i-torkemen ve Bender-i-gez istasyonları en sıcak istasyonlar olarak görüldü. Sonraki ikinci derece sıcaklıkta gelen istasyonlar doğudan batıya doğru sırasıyla Gonbed-i-kavus, Haşemabad-i-gorgan, Gorgan havalimanı istasyonları olarak görüldü. Üçüncü sıcak istasyonlar Kelale, Aliabad-i-ketül, Sari, Bender-i-emirabad, Gherakhil, Babolser ve Kiyaşehr olarak görülmüştür. Bu yılda bölgenin yıllık ortalama sıcaklık kontürü kısmen bölgenin güney doğu tarafı, Kiyas er, Deşt-i-naz ve kuzey batı tarafında ise Ramser, Rudser ve Lahican istasyonlarından geçmektedir.



Görsel 4. 2015 yılında bölgenin yıllık ortalama sıcaklığı

2023 yılı için çizilen kontürler (Görsel 5) bölgenin en sıcak istasyonu olarak İnçeburun ve Gonbed-i-kavus istasyonlarını göstermiştir. İkinci sıcak istasyonlar grubunda Haşemabad-i-gorgan, Gorgan havalimanı, ve Bender-i-gez ve Feridpak istasyonları bulunmaktadır. Üçüncü grupta Kelale, Sari, Gherakhil, Amol, Babolser ve Kiyasahr istasyonları görüntülenmektedir. Bu yılda bölgenin yıllık ortalama sıcaklık kontürü doğu tarafta kısmen ve Gelugah, Deşt-i-naz, ve Lahican istasyonlarından geçmektedir.



Görsel 5. 2023 yılında bölgenin yıllık ortalama sıcaklığı

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Sonuç olarak yapılan 30 yıllık mekansal analizlere göre, yıllık ortalama sıcaklık kontürü 1994 yılından 2023 yılına kadar genel olarak kuzey batı yönünde kayması görüldü ve bunun yanı sıra 2005 ve 2015 yıllarında bölgenin yıllık ortalama sıcaklık kontürü hemen hemen aynı kalmış olarak gözlemlendi. Dünyanın her yeri küresel ısınmadan etkilendiği gibi bölgenin bu mekansal ortalama kontür kaymasını da küresel ısınmaya bağlayabiliriz ve gelecekte bölgenin kuzey batı tarafının daha da çok ısınacağını tahminleyebiliriz

KAYNAKÇA

Tavangar, sh. and Moradi, H. and Massah Bavani, A., Climate change effect on the rainfall amount and intensity in the southern coast of the Caspian Sea. Scientific Research Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran,16.10.2019

- Kousari, M., Ahani, H., Hendi-zadeh, R., Temporal and spatial trend detection of maximum air temperature in Iran during 1960–2005, *Global and Planetary Change*, 24,08,2013.
- Dargahian, F., Doustkamian, M., Sadeghi, M., Temporal and Spatial Variations of Extreme Precipitation in Iran during Different Periods and Its Association with Global Warming. *Water Resources Engineering Journal*. 15,09,2020.
- Fathi Taperasht, A., Shafizadeh Moghadam, H., Kouchakzadeh , M., Spatio-temporal analysis of Iran's climatic classification based on Domarten method and Mann-Kendall test in the statistical period of 1995-2019. *Environmental Sciences*, 27,12,2021.
- Asadi, M., Karami, M., Modeling of relative humidity trends in Iran. *Model. Earth Syst. Environ, remote sensing*, 31,05, 2022.
- Baaghideh, M., Dadashi-Roudbari, A., Beiranvand, F., Analysis of precipitation variation in the northern strip of Iran. *Journal of Modeling Earth Systems and Environment*, 16,12,2019.
- Baltacı, A., Jeoistatistiksel Kestirimde Lokal Belirsizliğin Değerlendirilmesinde Alternatif Yaklaşımlar, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
- Doğan, N., Geoistatistical Analysis of Bathing Water Quality in Turkey, Orta Doğu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Enstitüsü, 2019.
- Kerem Kasa, F., 2021. Kaynak/Rezerv Raporlama Aşamalarının Ekonomik ve Jeoistatistiksel Yöntemlere Analizi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2021.
- Edemen, M., Engin, V., Bounukara, E., Narin, E., Yalçın, M., Küçükilhan, H., Kuş, H., Tutar, M., Kavlak, A., Küresel ısınma, Küresel ısınmanın nedenleri ve Sonuçları Dünya ve Türkiye Üzerine Olası Etkileri, *International Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 31,01,2023.
- IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
- Fathi Taperasht, A., Shafizadeh Moghadam, H., Kouchakzadeh, M. Spatio-temporal analysis of Iran's climatic classification based on Domarten method and Mann-Kendall test in the statistical period of 1995-2019. *Environmental Sciences*, 27,12,2021.

<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

<https://srs-gis.ir/interpolation-methods-in-gis/>

[DATA SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO, Image Landsat /Copernicus, Image IBCAO](#)

OPTIMIZATION AND CHARACTERIZATION OF ELECTROSPUN BIOPOLYMER MATS

Yağmur CAMCI ¹, Prof. Dr. Mahmut ÖZACAR ²

¹ Sakarya University, Biomedical Engineering, Institute of Natural Sciences,

yagmur.camci@ogr.sakarya.edu.tr - 0000-0002-0344-4227

² Sakarya University, Faculty of Science, Department of Chemistry, mozacar@sakarya.edu.tr

- 0000-0002-1783-7275

ABSTRACT

The research involves the production of composite biopolymer electrospun mats using the electrospinning technique, enabling nanoscale production. Electrospinning production parameters were discussed in detail, chemical and physical characterizations of electrospun mats were performed, and nanofiber diameters were determined.

Key Words: Electrospinning, Nanofibers, Biopolymer

1. INTRODUCTION

Electrospinning is an electrohydrodynamic process that involves the movement of a via the impact of an electrostatic field [1]. During electrospinning, an increase in voltage causes the drop at the syringe tip to generate a triangular structure known as the Taylor Cone, with the fiber drawing out as the power increases. The fiber pulls out of the polymer solution, it passes into the Whipping instability region [2]. Here, the fiber is in a spinning motion. Due to the spinning motion, the solvent in the solution evaporates and dry nanofibers adhere to the collector. The factors that affect the production of nanofibers during this process are listed as follows: molecular weight and viscosity, solvent volatility, surface tension, electrical conductivity of the solution; distance between the collector and the syringe, power source, flow rate, and syringe diameter [3]. Nanoliz NL-ES 02, a closed system benchtop electrospinning device, purchased from Turkey, and optimization and characterization of nanofiber production of various biopolymers: polyvinyl alcohol (PVA), PVA/carboxymethyl cellulose (CMC), polyvinylpyrrolidone (PVP), PVP/polyethyleneimine (PEI), and polymethylmethacrylate (PMMA) were performed.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1. Preparation of PVA Solution and Electrospinning Parameters

10% w/v PVA polymer solution was prepared by dissolving 1 g of PVA in distilled water. The solution was continuously stirred on a magnetic stirrer at 90 °C for 2 h. The prepared PVA polymer solution was filled into a 10 mL volume syringe with a 22 gauge

metal needle tip. The electrospinning process was performed with a distance between the metal needle and the collector of 12 cm, an applied volt of 20 kV, a feed rate of 0.5 mL/h, and a rotation speed of the collector of 250 rpm.

2.2. Preparation of PVA/CMC Solution and Electrospinning Parameters

5%wt. PVA solution and 2%wt. CMC solution were mixed in separate beakers until they dissolved in distilled water. Then, the PVA solution and CMC solution were mixed to be 10:1 by weight, respectively. 1 mL of glutaraldehyde, crosslinker, was added to the homogeneously mixed polymer solution. The electrospinning process was performed with the polymer solution filled into a syringe with a 21-gauge metal needle tip, the distance between the metal needle and the collector being 10 cm, the applied volt being 23 kV, the feed rate being 1.2 mL/h, and the rotation speed of the collector being 250 rpm.

2.3. Preparation of PVP Solution and Electrospinning Parameters

1.8 g of PVP (Mw: 360,000) was dissolved in ethanol overnight at room conditions with 500 rpm stirring. The polymer solution filled into a syringe with a 22 gauge metal needle tip produced nanofibers at different feed rates of 2 mL/h, 2.2 mL/h, 2.5 mL/h by applying 16 kV power, the distance between the metal needle and the collector was 15 cm.

2.4. Preparation of PVP/PEI Solution and Electrospinning Parameters

0.9 g PVP and 0.3 g PEI were added sequentially and dissolved in 10 mL of ethanol solvent. The prepared PVP/PEI polymer solution was filled into syringe with a 21 gauge metal needle tip. The electrospinning process was performed with a distance between the metal needle and the collector of 15 cm, an applied volt of 16 kV, a feed rate of 2.2 mL/h.

2.5. Preparation of PMMA Solution and Electrospinning Parameters

PMMA solution with a concentration of >22% wt. begins to form nanofibers. Optimum electrospun mat process was obtained with 35%wt. PMMA solution dissolved in dimethylformamide. The electrospinning process was performed with the polymer solution filled into a syringe with a 22-gauge metal needle tip, the distance between the metal needle and the collector being 18 cm, the applied volt being 15 kV, the feed rate being 4 mL/h, and as in all other processes the rotation speed of the collector being 250 rpm.

3. RESULTS

The electrospun mats, whose production process was optimized, were dried in the oven at 40 degrees for 24-48 hours. Then, they were stored in sealed containers. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) characterization was performed to determine the chemical structure of the biopolymer electrospun mats. In addition, the produced nanofibers were viewed with Scanning Electron Microscope (SEM). SEM images were examined with ImageJ software

and the diameters of the nanofibers were determined. The production parameters of biopolymer mats are given in Chart 1.

Chart 1. Production parameters of biopolymer mats.

<i>Polymer</i>	<i>Concentration</i>	<i>Solvent</i>	<i>Distance</i>	<i>kV</i>	<i>Feed rate</i>
<i>PVA</i>	10% wt.	Distilled water	12 cm	20 kV	0.5 mL/h
<i>PVA/CMC</i>	PVA solution/CMC solution (10:1)	Distilled water	10 cm	23 kV	1.2 mL/h
<i>PVP</i>	%12.	Ethanol	15 cm	16 kV	2 - 2.5 mL/h
<i>PVP/PEI</i>	PVP/PEI (3:1)	Ethanol	15 cm	16 kV	2.2 mL/h
<i>PMMA</i>	35%wt.	Dimethylformamide	18 cm	15 kV	4 mL/h

4. DISCUSSION

The optimization of the production of polymers frequently used in the biomedical field with the Nanoliz NL-ES 02 device was successfully carried out with the electrospinning technique, which has various parameters such as applied power, production distance, and production speed. The chemical and physical structure of the electrospun mat was examined with FTIR and SEM analyses. The electrospun mats were produced that have the potential to be used in various applications in tissue engineering and biomedical fields.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Scientific Research Projects Commission of Sakarya University (Project Numbers: 2024-26-62-31).

REFERENCES

- [1] Ghosal, K., Agatemor, C., Tucker, N., Kny, E. & Thomas, S. Electrical Spinning to Electrospinning: a Brief History, RSC Soft Matter, August, 1–23, 2018.
- [2] Ahmadi Bonakdar, M. & Rodrigue, D. Electrospinning: Processes, Structures, and Materials, Macromol, February, 4,1, 58-103, 2024.
- [3] Suresh, S., Becker, A. & Glasmacher, B. Impact of Apparatus Orientation and Gravity in Electrospinning—A Review of Empirical Evidence, Polymers, October, 12, 11, 2448, 2020.

RSM FOR OPTIMIZATION OF CIP ADSORPTION WITH MENENGIÇ (PISTACIA TEREBINTHUS) COFFEE WASTE

Muhammed KARABULUT*

Kocaeli University/Department of Chemistry, Faculty of Art and Science, Kocaeli, TURKEY
muhammedd.ahmett@gmail.com - ORCID ID: 0000-0003-0533-0765

Deniz BİNGÖL

Kocaeli University/Department of Chemistry, Faculty of Art and Science, Kocaeli, TURKEY
deniz.bingol@kocaeli.edu.tr- ORCID ID: 0000-0002-9396-2422

Seda KARAYÜNLÜ BOZBAŞ

Kocaeli University/Department of Chemistry, Faculty of Art and Science, Kocaeli, TURKEY
sedak@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-5177-3826

ABSTRACT

In this study, the potential of Menengiç (*Pistacia terebinthus*) coffee waste, which has gained attention in recent years due to its increasing consumption and positive health effects, was investigated as a sustainable adsorbent for combating environmental pollution. The primary objective of this study was to assess the effectiveness of Menengiç coffee waste in removing Ciprofloxacin (CIP), an antibiotic, from aqueous solutions. Antibiotics, due to their resistance to biodegradation, especially in aquatic environments, are significant environmental pollutants. In this context, the use of natural, cost-effective, and environmentally friendly adsorbents such as Menengiç coffee waste provides an important solution for sustainable waste management and the protection of water resources.

The adsorption process's ability to remove CIP (Ciprofloxacin) was examined in relation to pH, CIP concentration, and waste coffee amount. Response surface methodology (RSM) was used to optimize the adsorption process. RSM was used in the experiments to assess the impact of pH (2–8), CIP concentration (5-50 mg L⁻¹), and waste coffee amount (0.050-0.500 g) on CIP removal. It was determined which model best captured the relationship between the independent and dependent variables. The optimum CIP removal percentage of 62.3 % was obtained at pH 7, CIP concentration of 35 mg L⁻¹ and adsorbent amount of 0.450 g.

Keywords: Adsorption, CIP, Coffee Waste, RSM

1. INTRODUCTION

In recent years, the contamination of water sources with antibiotics has become a significant source of environmental pollution. Antibiotics from household waste that enter water systems create toxic effects, particularly on microorganisms, threatening the balance of ecosystems. Furthermore, these pollutants have long-term effects on human health; waterborne antibiotics can lead to the development of antibiotic resistance in bacteria, making treatable infections harder to manage [1].

Ciprofloxacin is a broad-spectrum fluoroquinolone antibiotic frequently used to treat various health issues such as urinary tract infections and respiratory diseases. However, the accumulation of this antibiotic in water sources can harm ecosystems, particularly aquatic life forms. Moreover, the environmental presence of Ciprofloxacin accelerates the development of antibiotic-resistant bacteria, posing a significant threat to public health. Traditional water treatment methods are often insufficient in removing such pollutants, creating a need for more effective, natural, and sustainable solutions to remove antibiotics from water systems [2].

In recent years, the use of organic waste, particularly plant materials, in water treatment processes has been discovered. These natural materials offer environmentally friendly, low-cost, and effective solutions. The Menengiç (*Pistacia terebinthus*) plant, which is commonly grown in the southeastern regions of Turkey, is a caffeine-free plant rich in antioxidant compounds. Menengiç coffee is made from the seeds of this plant, and it is beneficial for digestive health. It also has the ability to neutralize free radicals due to its phenolic compound [3].

However, the waste from this coffee has not yet been sufficiently studied in the fields of environmental science and water treatment. Nevertheless, the fact that these wastes are rich in organic components and phenolic compounds makes them a potential adsorbent material for water treatment [4].

The literature on the use of Menengiç coffee waste, particularly for the removal of antibiotics, is quite limited. However, some studies on the use of plant-based wastes in water treatment processes demonstrate the effectiveness of such natural materials. In this study, the effectiveness of Menengiç coffee waste in removing antibiotics from aqueous solutions containing Ciprofloxacin is investigated. This research highlights a potential application for Menengiç coffee waste as an environmentally friendly solution and presents an innovative approach for sustainable water management.

2. EXPERIMENTAL RESEARCH

A UV-Vis spectrophotometer (T80+ UV/VIS Spectrometer, PG Instruments Ltd) was employed to identify the maximum absorption wavelength of the dyes and to measure their concentrations during the dye removal process.

All glassware was soaked in acidic washing solution at least overnight before use and then rinsed with distilled water. The distilled water used was obtained from Elga and has a conductivity of 18.2 μs .

The pH values of the solutions were determined with Hanna Instruments pH 211 Microprocessor model pH meter. pH meter was adjusted with NBS buffer solutions before each use. In adsorption processes, 0.05 M HCl and 0.05 M NaOH solutions were used to adjust the pH values of the solutions from Sigma Aldrich (Germany).

Stock CIP solutions (1000 mg/L) used in the experimental studies were prepared by taking 1000 mg of CIP and dissolving in deionized water. CIP was obtained from Aarti Drugs Ltd. CIP solutions with different initial concentrations were obtained and used by diluting the stock solutions to the desired ratio.

Initial solution pH (2-8), initial CIP concentration (5-50 mg L⁻¹) and adsorbent amount (0.050-0.500 g) to be carried out in such a way that the study was carried out. Each study was conducted with 2 repetitions. The treatments were carried out at a temperature of 25°C and a contact time of 90 minutes.

CCD-RSM is an effective and economical method for analyzing complex interactions between factors, modeling and determining optimum conditions. Therefore, it is frequently preferred for the analysis of multi-parameter systems such as adsorption processes. The identification of optimal adsorption conditions hinged on the maximization of pivotal operational parameters. ANOVA analysis was conducted to ascertain the degree of parameter effectiveness.

This study underscores the importance of Menengiç coffee waste as an economical and powerful adsorbent in the context of CIP.

Ciprofloxacin (CIP) was subjected to a UV wavelength scan. This allowed the observation of the wavelength at which maximum absorbance occurred.

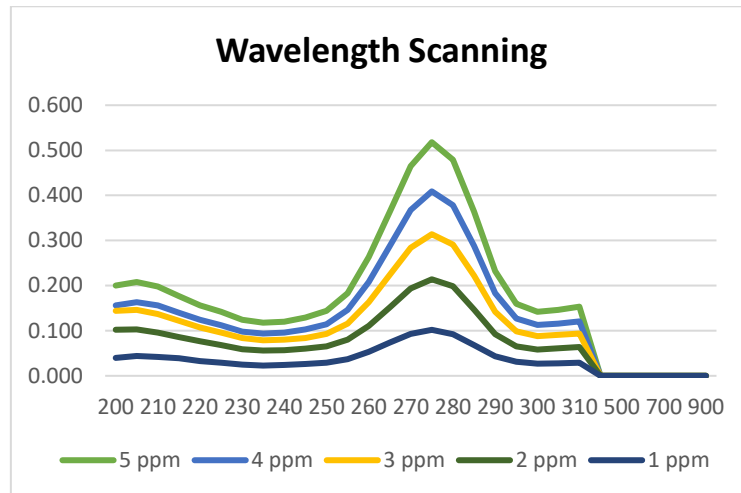


Figure 1. CIP Wavelength Scanning

The UV wavelength scan revealed that Ciprofloxacin (CIP) exhibited maximum absorbance at 275 nm.

2.1. EXPERIMENTAL DESIGN

Optimizing the experimental factors of the adsorption process is of great importance in order to achieve the highest removal efficiency of the target pollutant by the adsorbent. Because of its high sensitivity, low cost, and time requirements, response surface methodology (RSM) is widely used. The application of RSM as a practical technique has grown recently in comparison to the classical method because the latter fails to examine the impact of factor interaction on response, leading to an error in the experimental outcome. In order to identify the ideal conditions, the central composite design (CCD) approach under RSM was used to study the experiment design for the current adsorption process. Additionally, the adsorption process's experimental variables of solution pH (x_1), initial CIP concentration (x_2), and adsorbent mass (x_3) were statistically optimized and modeled using the central composite design-response surface methodology (CCD-RSM) [5].

Table 1 displays the design matrix that includes the levels and ranges of the experimental independent variables. Additionally, the dependability of the derived model was statistically assessed using analysis of variance (ANOVA). Based on the independent variables x_1 , x_2 , and x_3 , the response (CIP removal) was predicted using a second-order polynomial regression equation (Equation 1) as follows:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{1 \leq i < j \leq k} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (1)$$

The model constant, linear coefficient, quadratic coefficient, interaction coefficients, and ε random error are displayed as x_1, x_2, \dots, x_k , input variables that influence the predicted response (y), β_0, β_i ($i = 1, 2, \dots, k$), β_{ii} and β_{ij} ($i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, k$), respectively [6].

Table 1. Factors and factors levels of CCD matrix

Factors	Symbol	Factors levels				
		$-\alpha$ (-1.682)	-1	0	+1	$+\alpha$ (+1.682)
pH	X_1	2	3	5	7	8
C_o (mg/L)	X_2	5	14	27	41	50
m (g)	X_3	0.0500	0.1412	0.2750	0.4088	0.5000

Run	Coded level			Actual level		
	X_1	X_2	X_3	pH	C_o (mg/L)	m (g)
1	-1	-1	-1	3	14	0.1412
2	+1	-1	-1	7	14	0.1412
3	-1	+1	-1	3	41	0.1412
4	+1	+1	-1	7	41	0.1412
5	-1	-1	+1	3	14	0.4088
6	+1	-1	+1	7	14	0.4088
7	-1	+1	+1	3	41	0.4088
8	+1	+1	+1	7	41	0.4088
9	-1.68	0	0	2	27	0.2750
10	+1.68	0	0	8	27	0.2750
11	0	-1.68	0	5	5	0.2750
12	0	+1.68	0	5	50	0.2750
13	0	0	-1.68	5	27	0.0500
14	0	0	+1.68	5	27	0.5000
15-20	0	0	0	5	27	0.2750

2.2. OPTIMIZATION OF THE ADSORPTION PROCESS

Adsorption independent variables were optimized and modeled using CCD-RSM. In addition, the significance level of each variable was evaluated using analysis of variance (ANOVA), and the results are shown in Table 2. To determine whether a result was statistically significant, P-values greater than 0.05 were hierarchically eliminated from the model. As can be seen, the standard deviation (SD) of the reduced model was a low value (0.13) and also all the R-squared (R^2) values were almost 100%, which means that the predicted values were extremely close to the actual values (response). Furthermore, there was no difference between the adjusted R-squared ($Adj-R^2$) and the predicted R-squared ($Pred-R^2$), which further proved that there was a good correlation between the actual and predicted values. The equation presented in Table 2 shows that the main variables and their interaction effects have positive effects on the adsorption process, while the squared interactions show a negative interaction.

Table 2. ANOVA results

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	11680.4	1297.83	34.36	0.000
Linear	3	10600.5	3533.51	93.54	0.000
pH	1	9864.9	9864.87	261.13	0.000
Co	1	728.3	728.26	19.28	0.000
m	1	7.4	7.40	0.20	0.661
Square	3	1014.0	337.99	8.95	0.000
pH*pH	1	430.0	429.97	11.38	0.002
Co*Co	1	654.9	654.86	17.33	0.004
m*m	1	0.6	0.56	0.01	0.904
2-Way Interaction	3	65.9	21.98	0.58	0.631
pH*Co	1	7.2	7.24	0.19	0.665
pH*m	1	19.3	19.27	0.51	0.481
Co*m	1	39.4	39.44	1.04	0.315
Error	30	1133.3	37.78		
Lack-of-Fit	5	1112.9	222.57	272.17	0.000
Pure Error	25	20.4	0.82		
Total	39	12813.7			

Model summary: S= 6.15 $R^2= 91.16\%$ $R^2(adj)= 88.50\%$ $R^2(pred)= 81.11\%$

Reduced model summary: S= 0.13 $R^2= 100.00\%$ $R^2(adj)= 99.99\%$ $R^2(pred)= 99.99\%$

Regression Equation in Coded Units:

$$R (\%) = 41.4183 + 19.0045 \text{ pH} + 5.1636 \text{ Co} + 0.5205 \text{ m} - 3.8762 \text{ pH*pH} - 4.7804 \text{ Co*Co} + 1.0975 \text{ pH*m} - 0.6725 \text{ pH*Co} + 1.5700 \text{ Co*m}$$

S: Standard deviation

$R^2(adj)$: Adjusted coefficient of determination

$R^2(pred)$: Predicted coefficient of determination

R^2 : Coefficient of determination, S: Standard deviation

Surface plots were used to illustrate how experimental independent factors affected CIP removal efficiency (Fig. 2). These surface plots analyze the effect of interaction between two variables by adjusting one factor to the center level, revealing important information about the effect of three factors on adsorption efficiency. The effects of pH and adsorbent amount on CIP removal efficiency showed that the highest CIP adsorption efficiency occurred at about 7 pH and higher adsorbent mass. According to the effects of solution pH and CIP concentration, adsorption removal efficiency increased with increasing CIP concentrations and remained relatively constant after intermediate CIP concentration values. Moreover, about 7 pH was where the positive effect of medium CIP concentration was the largest. The effects of solution pH and adsorbent amount showed that at 7 pH, adsorbent mass had a very positive effect on increasing CIP removal efficiency. The effects of adsorbent amount and CIP concentration

show that CIP removal efficiency occurs at medium CIP concentrations and high adsorbent amounts. From the surface plots, it is observed that the highest CIP removal efficiency occurs when both pH and adsorbent amounts are higher and at lower CIP concentrations.

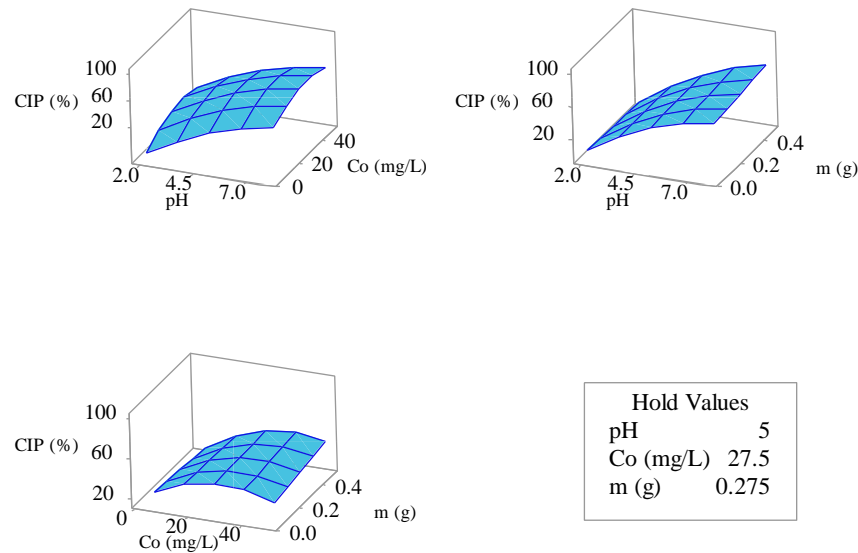


Figure 2. Surface plots for CIP removal efficiency

Determination of optimum conditions was carried out using response optimizer (Figure 3). As a result, pH 7, initial CIP concentration 35 mg L^{-1} and adsorbent amount 0.450 g were optimum conditions for maximum CIP removal efficiency from aqueous solution at 90 min contact time. Under optimum conditions, the maximum adsorption removal efficiency of CIP with coffee waste was $62.3 \pm 1.2\%$ with standard deviation.

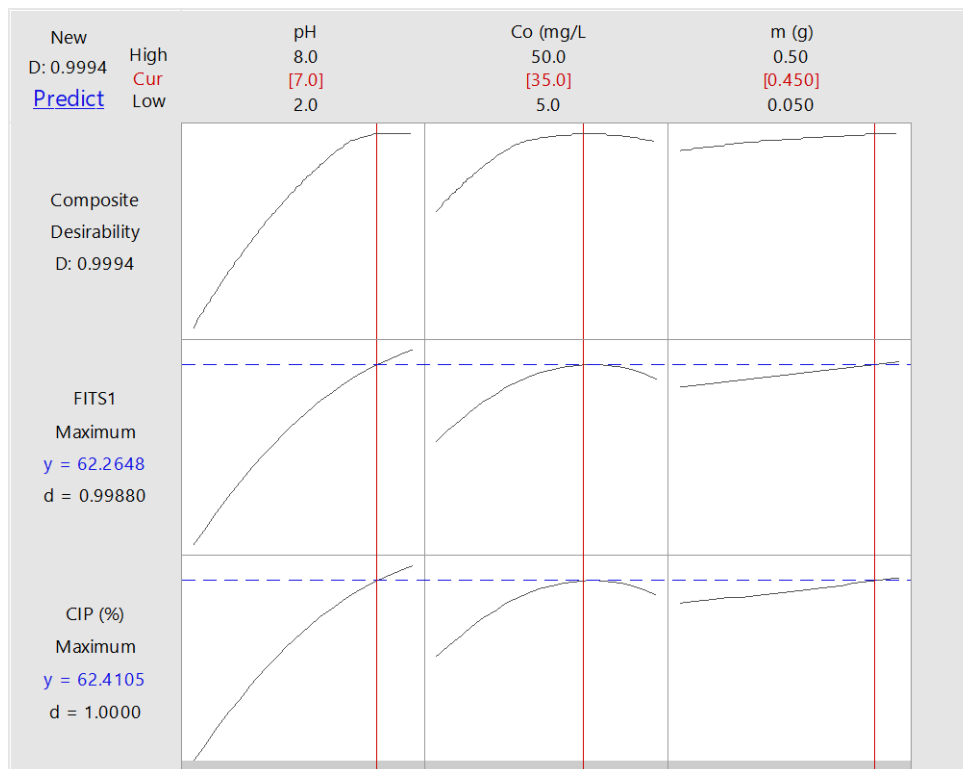


Figure 3. Optimum conditions determined using the response optimizer

3. RESULTS AND DISCUSSION

Response Surface Methodology (RSM) is a powerful technique for optimize the conditions for the adsorption-based removal of species such as dyes, heavy metals, and medications. Operating parameters including pH, CIP concentration, and waste coffee amount for CIP adsorption were determined using RSM applied utilizing central composite design (CCD). This paper presents a design experiment carried out to determine the optimum conditions for maximum removal of CIP via adsorption. The adsorption experiments of CIP were designed at 90 min contact time based on three factors: initial solution pH (2-8), initial CIP concentration (5-50 mg L⁻¹) and adsorbent amount (0.050-0.500 g). Using the experimental design matrix, experiments were carried out to find the best empirical model that proves the maximum removal efficiency for the investigated CIP. An optimum removal efficiency of 62.3 % was obtained for CIP with coffee waste for 90 min with a pH 7, initial CIP concentration of 35 mg L⁻¹ and adsorbent amount of 0.450 g. Optimum operating conditions were established using surface and contour plots for each factor pair included in the model.

REFERENCES

1. Pramo, B., Kawaljeet K., Sagar R., Varsha S., Vinay K., Antibiotic pollution and associated antimicrobial resistance in the environment, *Journal of Hazardous Materials Letters*, November, 5, 2024
2. Lei H., Ahmed M., E., K., Junkai W., Yu C., Faliang L., Hong C., Haijun Z., Xueyin L., Guangqiang L., Quanli J., Shaowei Z., Graphene-boron nitride composite aerogel: A high efficiency adsorbent for ciprofloxacin removal from water, *Separation and Purification Technology*, December, 1, 2021
3. Karabulut M., *Menengiç (Pistacia Terebinthus) Kahve Atığının Malaşit Yeşili Ve Metilen Mavisi Boya Gideriminde Kullanılmasının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2017.
4. S. K. Bozbas And T. Unugul, "The use of Turkish coffee waste as a polymeric adsorbent for methyl orange adsorption from aqueous solutions," *Research On Chemical Intermediates* , vol.49, no.5, pp.2155-2174, 2023
5. Çetintaş, S. And Bingöl, D. 2018. Optimization of Pb(II) Biosorption with Date Palm (Phoenix Dactylifera L.) Seeds Using Response Surface Methodology. *Journal Of Water Chemistry And Technology*, vol.40, 370-378.
6. Montgomery, C., D., *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley & Sons, New York, 2008.

YENİ NESİL TASARIMLARLA DAHA VERİMLİ VE KALİTELİ ARI ZEHİRİ ÜRETİMİ MÜMKÜN MÜDÜR?

Öğr. Gör. Dr. Uğur BEKÇİBAŞI

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi/ Bilişim Sistemleri Mühendisliği
ugur@mu.edu.tr - 0000-0002-0766-2512

Göktürk Alperen AYTEKİN

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootekni Ana Bilim Dalı
aytekingaa@gmail.com - 0009-0005-5288-1051

Doç. Dr. Rahşan İvgin TUNCA

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Ula Ali Koçman Meslek Yüksek Okulu, Bitkisel Ve
Hayvansal Üretim Bölümü,
rahsantunca@mu.edu.tr - 0000-0003-0745-6732

ÖZET

Arıcılık faaliyeti ve bu faaliyetler sonrasında elde edilen ürünler sayesinde ülkelerin ekonomisi, canlı sağlığı ve floral sistemin sürdürülebilirliğinde önemli bir yere sahiptir. Günümüzde arılardan elde edilen ürünler, apiterapi olarak insan ve diğer canlıların sağlıklarının iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Apiterapi uygulamaları özelinde ise arı zehrinin farklı ve özel bir yere sahip olduğunu söylemek mümkündür. Apotoksin olarak adlandırılan arı zehri, bal arılarının koloni savunmasında kullanmak amacıyla karın boşluklarında bulunan zehir bezlerinden salgılayarak, iğneleri kanalıyla düşmanlarına enjekte edene kadar zehir keselerinde depoladıkları; peptid ve protein ağırlıklı bir üründür. Taze arı zehri, sarımsı, yarı şeffaf bir sıvı olup, kendine özgü bir kokuya ve yapıya sahiptir. Son derece zengin bir kimyasal içeriği sahip olan arı zehri, sağlık ve kozmetik alanında kullanılmaktadır. Kullanım amacı nedeniyle arı zehri doğru kalite standartlarında, hassas ve dikkatli bir şekilde toplamak oldukça önemlidir. Bu nedenle istenilen kalitede zehir kalitesini ve zehir üretim miktarını etkileyen faktörler konusunda farklı çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda arı zehri sağım cihazlarının kovadaki konumu, hasat saati ve periyodu, arı ırkı, mevsimsel etkiler ve zehir sağım paterninin, arı zehri üretim miktarına etkisinin yanında; elde edilen zehrin depolama koşullarının da zehir kalitesine etkisi olduğu görülmüştür. Yapılan çalışma ile daha verimli bir sağım uygulaması geliştirildiği gibi saklama koşullarına destek olan bir yapıda kurgulanmıştır. Çalışma, uygun sağım paterni ile mevcut tekniklerden farklı ve üstün bir yapı elde edilmiştir. Sağım paterni ve uygulanan voltaj sayesinde koloni agresifliği etkilenmediği gibi zehir verimliliği ve kalitesi de arttırılmıştır. Tasarımın getirdiği diğer bir avantaj ise güçlü

kolonilerden yapılan zehir sağımında bile tüm koloniye yetecek sağım yüzeyi alanına sahip olmasıdır. Bu sistem enerji verimliliği ile çevreye etkileri açısından dikkatle hazırlanmış ve bu etkiler ön planda tutularak yenilikçi bir yaklaşım ile tasarlanmıştır. Yapılan çalışma ile ülke arıcılığının arı zehri sağım kapasitesi arttırılacağı gibi gelecek çalışmalara ışık tutması hedef alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bal Arısı, Arı Zehri, Arı Zehri Sağım Sistemi, Arı Zehri Sağım Teknikleri

1. GİRİŞ

Günümüz arıcılık sektöründe maddi kaygılar üreticilerin önündeki en önemli olgu konumundadır. Üretici henüz yeni sezona başlamadan sezon sonunu düşünmekte ve arıyı sadece bal kaynağı olarak görmektedir. Bu sorunlara iklim değişikliği ve büyük yangınlar nedeniyle kaybedilen hasat alanları eklendiğinde arıcılık sektörü ciddi kaygı yaşanan üretim alanlarının başında gelmektedir.

Henüz yakın zamanlarda başlayan üretici eğitimi ve proje destekleri ile hızlı bir ivme yakalayan sektör günümüzde arının sadece bal üretmediğini, bütünsel olarak ürünlerinin kıymetini anlamaya başlamıştır. Polen, arı ekmeği, arı sütü, propolis gibi fiziki ürünlerinin yanı sıra; kovan havası ve sesi ile sağlık turizmine olanak sağlamaktadır [1]. Sayılan tüm çıktılar tamamlayıcı tıp çalışma alanlarında önemli destek sağlamakta ve sağlıklı bireyler yetiştirmede öncül besinler olarak öne çıkmaktadır [2].

Tüm bu çıktılarının üzerine, yakın zamanda sağımı başlanmış arı zehri ise kendine modern tıpta önemli bir çalışma alanı açmıştır [3]. Zehrin sağlık üzerine faydaları, aşı çalışmaları ve kozmetik sektöründe kullanım alanları akademik çalışmaların arıcılık açısından dönüm noktası olmuştur. Henüz çalışmalarda net bilgiler oluşma da arı varoluşunun sebebini bir kez daha doğaya hatırlatmıştır [4].

Samancı tarafından 2019 yılında Anadolu bal arısı üzerinde yapılan çalışmada doğal olarak elde edilen arı zehirlerinin fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi çalışılmıştır. Doğal olarak elde edilen arı zehri, ticari olarak elde edilen arı zehirleri ile kimyasal içerik bakımından karşılaştırılmış ve zehrin taze olarak elde edilmesi, elde edilen zehirlerin hızlı bir şekilde soğuk zincire ulaştırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır [5].

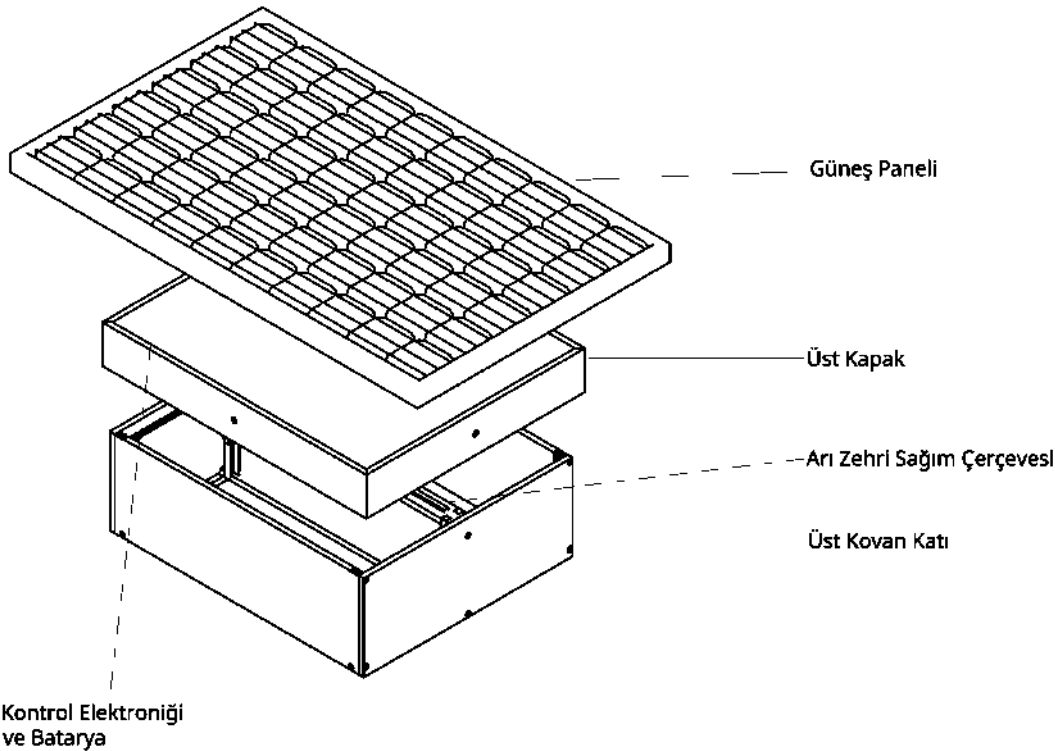
Zehrin kendine has yapısı, bileşenleri ve hasat sonrası bozulma süreci arıcılar için zor bir süreci de beraberinde getirmiştir. Arıcı sahada arı ürünleri ile ilgilenirken harcadığı eforun neredeyse aynısını zehir sağımı için de ayrıca harcamak zorundadır. Ek olarak zehrin bozulma sürecine girmeden soğuk zincirde tutma gereksinimi diğer arı ürünleri ile ilgilenmeyi kısıtlamaktadır. Sahada arıcının en az efor ile en çok verimi sağlaması beklenirken zehir sağımı tek başına tüm süreçler kadar vakit ve ilgi istemektedir.

Tüm bu olumsuz durumlara rağmen araştırmaların olumlu süreçleri ve kozmetik sektöründeki kullanımların artması nedeni ile değerini ortaya koyan zehir, harcanan emeği fazlası ile karşılar durumdadır [6].

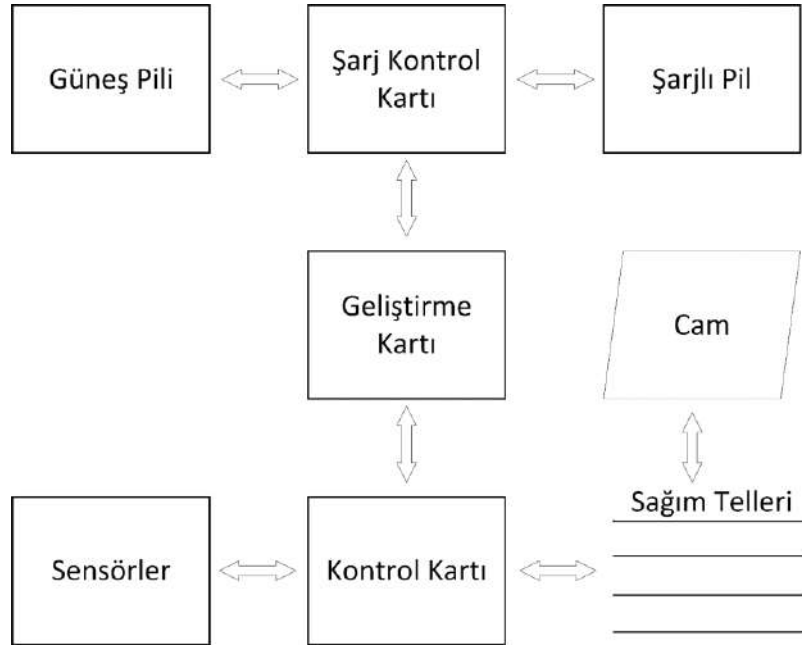
Süreçteki iş akışı, henüz standartlar ile belirlenmediği için, üretici-alıcı arasında bir fiyat dengesi kurulamamıştır [7]. Fakat piyasada alımlar devam etmekte olup değişken fiyatlandırma söz konusudur.

Çalışmanın ana amaçlardan bir tanesi de, arı yetiştiricisinin mevcut üretimine ek olarak arı zehri üreticisi de olabilmesini sağlamaktır. Arı yetiştiricisi tüm bu süreci, otomatize bir sistem ile ve mevcut iş yükünü arttırmadan yapabilecektir. Sistemin kapalı tasarımı nedeniyle de üretim esnasında insan hatasına yer olmayacağı gibi, üretim sonrası da zehrin olası insan sağlık sorunlarından uzak, güvenli biçimde elde edilmesinin yolu açılacaktır. Tasarlanan ürünün avantajları sayesinde üretici dünya standartlarını belirleyecek düzeyde saf ve kaliteli ham arı zehri üretimi gerçekleştirebilecektir. Üstelik cihaz sayesinde zehir sağılabilen tüm arı tür ve alttürlerinde zehir sağımında mümkün olan en yüksek verim elde edilmiş olacaktır.

Geliştirilecek sistemde farklı görevleri bulunan modüller bulunacaktır. Görsel 1 ve 2’de blok tasarımları verilmiş sistem; güneş enerjisi ve şarj modülleri, geliştirme kartı modülü, kontrol kartı, sensörler ve sağım telleri olarak ayrışmaktadır.



Görsel 17. Sistem Blok Tasarımı

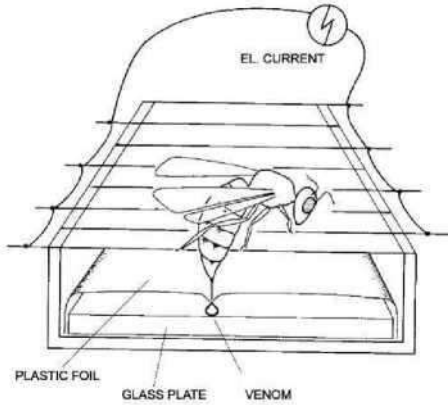


Görsel 18. Sistem Donanım Tasarımı

- Güneş enerjisi ve şarj modülleri; sistemin çalışması için gerekli enerjiyi depolayan şarjlı pilleri, sahada çalışma süresini uzatmak için kullanılacak güneş panelini ve pillerin harici şarj edilebilmesini de sağlayan şarj ünitesini içermektedir.
- Geliştirme kartı modülü; sistemin beyni konumundaki yapı yazılımının geliştirileceği altyapıyı sağlamaktadır. Kablosuz haberleşme yeteneğine sahip geliştirme kartı arayıcılığı ile telefon uygulaması haberleşmesi sağlanacaktır. Sistem kablosuz haberleşme yeteneği sayesinde opsiyonel olarak merkezi bir kontrol ünitesi ile kontrol edilebilir olacaktır.
- Kontrol modülü; sensörlerden gelen verileri haberleşme modülüne, geliştirme kartı modülünden gelen komutları yürütmek ve sağım tellerini çalıştırmakla ilgili modüldür.
- Sensör modülü; farklı sensörlerin verilerini tek bir veri yolu üzerinden iletmek için kullanılan modüldür.

2. DENEYSEL UYGULAMALAR

Arı zehri sağımı ilk kez 1954 yılında Markovic ve Mollnar tarafından literatüre kazandırılmıştır. Görsel 3'te sistem çizimi, Görsel 4'te ise sistem tasarımı verilen sistem kovan içine veya dışına monte edilebilir şekilde tasarlanmış ve uygulanmıştır. Yapı ince bir polietilen membran ile kaplanmış çerçeve, elektrik tel ağı ve bir cam plakadan oluşmaktadır [8].



Görsel 20. Sistem Çizimi

Görsel 19. Sistem Tasarımı

Markovic ve Mollnar tarafından tasarlanmış sistemde birkaç farklı model geliştirilmiş ve zehir toplayıcı kollektörler farklı koşullarda kullanılmıştır [8]. Çalışmada 24-30 V aralığında, 2-3 saniyelik darbe süresi, 3 ila 6 saniyelik duraklar ile 50-1000 Hz darbe frekansı aralıklarında verimli bir sağım elde edilebileceği öngörülmüştür. Çalışma çıktısı olarak arı zehri toplama sırasında arılara zarar verilmez düşüncesi hakimdir. Ayda 3-4 kez tekrarlanan 3 saatlik toplama periyotlarının arılara zarar vermediği, 1 gr kuru arı zehri için yaklaşık 10.000 arıya ihtiyaç olduğu; yaklaşık 40.000 arı ile 4 gr arı zehri toplanarak ortaya konmuştur [9]. Bu toplama, kuluçka veriminde ve bal veriminde yaklaşık %10-15 oranında azalmaya neden olmuş; sezonda ise arı performansını etkilemediği belirtilmiştir [10].

Yapılan çalışmalarda sıcak ve nemli bölgelerde arı zehrinin, soğuk ve ılıman bölgelere göre daha toksik olabileceği saptanmıştır. Çalışmada farklı arı türlerinin arı zehri ile ilgili olarak, *Apis mellifera* ve *Apis dorsata* zehirlerinin benzer toksisiteye sahip olduğu; fakat *Apis dorsata* zehrinin daha fazla alarm feromonları içerdiği saptanmıştır [9]. Benzer şekilde 1996 yılında Krell tarafından yapılan çalışmada farklı bal arısı türlerinden elde edilen zehrin farklılıklar gösterse de genel aktivitesinin benzer olduğu ortaya konmuştur [11].

Örnek olarak verilen çalışmaların göstergesinde arı zehri gerek arı türüne gerekse de sağım tekniğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. İlk prototip aşaması için deney bölgesi olarak Muğla ili öngörülmüştür.

Çizelge 1. Donanım Değişkenleri

Tel Gerilimi (V)	Tel Kalınlığı (mm)	Darbe Süresi (sn)	Darbe Durak Süresi (sn)	Darbe Frekansı (Hz)
12	0,5	3	6	50
24	1,5			100

30

250

500

1000

Çizelge 1’de yapılan çalışmanın donanım değişkenleri sunulmaktadır. Geliştirilmesi planlanan prototipte deney verileri ışığında aşağıda belirtilen başarı kriterleri öngörülmektedir:

- Sistemin şarj edilmeyi unutulup sahaya gelinmesi durumunda % 20 - % 80 şarj olma süresi olarak 2 saat olması öngörülmektedir,
- % 80 şarjlı durumdaki sistemin 1 saat süre ile sağım yapabilmesi hedeflenmektedir,
- Her bir sağımın 20 dakikalık süreçte tamamlanması hedeflenmektedir,
- Sahada kovanın diğer işlemlerine ek olarak; her bir sağım için 5 dakikalık ekstra süreç eklenmesi hedeflenmektedir.

Böylece sistem arıcının iş yükünü arttırmadan kendi kendine sağımı yapabilir kapasitede olacak ve süreç bitiminde gerek sesli gerekse de telefon bilgilendirmesi ile uyarı verebilecektir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yakın dönem akademik, sağlık ve kozmetik çalışmaların artması ile önem kazanan arı zehri, henüz standartlarının tam oluşmadığı ve elde edilmesinin zahmetli olduğu bir çalışma alanıdır. Geliştirilen sistem gelecek çalışmalara öncülük edilmesi, standartların belirlenmesi ve sürecin otomatikleştirilmesinde katma değeri yüksek ürünler arasındadır. Geliştirilen sistem ile ulusal bazda ilk akıllı sağım sistemi geliştirilmiş olacaktır. İlerleyen süreçte sistem uluslararası kovanlara uygun hale getirilecektir. Sağım sistemi henüz alternatifi olmayan bir alanda olduğundan tercih sebebi olarak ön plana çıkmaktadır.

Çalışmanın ana çıktısı daha kaliteli ve yüksek standartlara sahip arı zehri üretimi sağlamaktır. Arıcılık aktivitelerinin yanı sıra katma değeri çok daha yüksek bir ürünün kolay ve kısa bir sürede elde edilebilmesi mümkün olacaktır. Koloni bakım çalışmaları için ihtiyaç duyulan ekstra zamanın kazanılması hem daha sağlıklı arı kolonilerini hem de kaliteli arıcılık yan ürünlerini beraberinde getirecektir. Böylece tasarlanan ürünün arıcılık sektörümüze ve ülke ekonomimize önemli katkıları olacaktır.

KAYNAKÇA

[1] F. Yöndemli, “ARI ZEHRİYLE TEDAVİDE (APİTERAPİ-APİKOTERAPİ) BİZ

- NEREDEYİZ, DÜNYA NEREDE?,” *Lokman Hekim J.* 2011; 2011, [Online].
Available: <http://lokmanhekim.mersin.edu.tr>
- [2] A. K. SİĞ, M. GÜNEY, Ö. ÖZ SİĞ, and H. ŞAN, “Bee venom: A medical perspective,” *Turkish J. Clin. Lab.*, vol. 10, no. 3, pp. 414–421, Sep. 2019, doi: 10.18663/tjcl.451586.
- [3] M. K. Dilşad ONBAŞLI, Gökçen YUVALI ÇELİK, Sümeyye KAHRAMAN, “Apiterapi ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri,” *Erciyes Üniversitesi Vet. Fakültesi Derg.*, vol. 13, no. 3, pp. 49–56, Apr. 2019, doi: 10.32707/ercivet.538001.
- [4] S. KOLAYLI, “Apiterapik Amaçlı Arı Ürünlerinin İncelenmesi ve Tüketilebilir Yeni Karışımlarının Hazırlanması,” 2016.
- [5] T. SAMANCI, “ANADOLU BALARISI (*Apis mellifera anatoliaca*)’NDAN DOĞAL OLARAK ELDE EDİLEN ARI ZEHİRLERİNİN FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ,” 2019.
- [6] S. Y. Filiz Eren BÖLÜKTEPE, “ARI ÜRÜNLERİNİN BİLİNİRLİĞİ VE SATIN ALINMA SIKLIĞI,” *Uludağ Arıcılık Dergisi*, vol. 8, no. 2, pp. 53–62, 2008.
- [7] M. Kekecoglu, “Apiterapi ürünlerindeki üretim sorunları,” in *Türkiye Klinikleri; 2021*, 2021, pp. 257–63. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/354732251>
- [8] O. Markovic and L. Molnar, “Isolation of and determination of bee venom,” *Chem. Zvesti*, vol. 8, pp. 80–90, 1954.
- [9] N. Urtubey, “Apitoxin: from bee venom to apitoxin for medical use,” in *Termas de Rio Grande Santiago del Estero, Argentina*, 2005.
- [10] S. Bogdanov, *The Bee Venom Book*, no. April 2016. 2016.
- [11] R. Krell, *Value-added products from beekeeping*. 1996.

FARKLI ÖNLİSANS PROGRAMINDA ÖĞRENİM GÖREN ÖĞRENCİLERİN SAĞLIKLI YAŞAM BİÇİMİ DAVRANIŞLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Nur OYMAK SOYSAL

Pamukkale Üniversitesi Sarayköy Meslek Yüksekokulu, Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü,
Denizli/Türkiye

aysenuroymak@gmail.com-ORCID: 0000-0001-5383-7937

Doç. Dr. Şule ŞİMŞEK

Pamukkale Üniversitesi, Sarayköy Meslek Yüksekokulu, Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü,
Denizli/Türkiye

sules@pau.edu.tr-ORCID: 0000-0001-8065-6461

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, Pamukkale Üniversitesi Sarayköy Meslek Yüksekokulu'nda öğrenim gören Fizyoterapi Programı öğrencileri ile Alternatif Enerji Kaynakları Programı öğrencilerinin sağlıklı yaşam biçimi davranışlarını karşılaştırmayı amaçladı.

Metot: Çalışmaya Pamukkale Üniversitesi Sarayköy Meslek Yüksekokulu'nda öğrenim gören 18-25 yaş aralığında bulunan gönüllü öğrenciler dahil edildi. Öğrencilerin sosyodemografik verileri (yaş, cinsiyet, VKİ), sınıf ve okuduğu bölüm bilgileri kaydedildi. Sağlıklı yaşam biçimi davranışı Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışı Ölçeği kullanılarak değerlendirildi.

Bulgular: Çalışmaya Sarayköy Meslek Yüksekokulu Fizyoterapi Programı (70 öğrenci) ve Alternatif Enerji Kaynakları Programı'nda (61 öğrenci) öğrenim gören toplam 131 öğrenci (38 erkek, 83 kız) (yaş ort:20.54±5.14) dahil edildi. İki farklı programda öğrenim gören öğrenciler karşılaştırıldığında; Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranış Ölçeği skorları bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p=0.274$).

Sonuç: Farklı ön lisans programlarında okuyan öğrencilerin sağlıklı yaşam biçimi davranışları bakımından farklılık bulunmamıştır. Sağlıklı yaşam davranışlarının benimsenmesine birçok faktör etki etmektedir. Bu nedenle üniversite döneminde bu konuda eğitimlerin düzenlenmesi faydalı olacaktır.

Anahtar kelimeler: Öğrenci, Sağlık programı, Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışı

COMPARISON OF HEALTHY LIFESTYLE BEHAVIORS OF STUDENTS WHO ARE EDUCATED IN DIFFERENT ASSOCIATE DEGREE PROGRAMS

ABSTRACT

Aim: This study aimed to compare the healthy lifestyle behaviors of Physiotherapy Program students and Alternative Energy Sources Program students studying at Pamukkale University Sarayköy Vocational School.

Methods: Volunteer students between the ages of 18-25 studying at Pamukkale University Sarayköy Vocational School were included in the study. After students' sociodemographic data (age, gender, BMI), grade and department information were recorded, the Healthy Lifestyle Behavior Scale was applied to the students. The data were analyzed and interpreted statistically.

Results: 131 students (38 men, 83 women) (average age:20.54±5.14) studying at Sarayköy Vocational School Physiotherapy Program (70 students) and Alternative Energy Sources Program (61 students) were included. In the comparison, no statistically significant difference was found between the students of the two departments in terms of Healthy Lifestyle Behavior Scale scores ($p = 0.274$).

Conclusion: There was no difference in terms of healthy lifestyle behaviors of students who are and are not educated in the health program. Many factors affect the adoption of healthy lifestyle behaviors. Therefore, it would be beneficial to organize training on this subject during university period.

Keywords: Healthy Lifestyle Behavior, Health Program, Student

1. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü sağlığı; “Yalnızca hastalık ya da sakatlığın olmayışı değil, fiziksel, ruhsal ve sosyal olarak tam bir iyilik hali” olarak tanımlar. Sağlıklı yaşam biçimi ise kişinin sağlığını etkileyen, bütün davranışlarını kontrol altında tutması, günlük yaşam aktivitelerini kendine göre seçmesidir¹. Bireylerin sağlığı geliştirecek davranışlar sergilemesi hastalık insidansını düşürmektedir².

Sağlıklı yaşam biçim davranışlarının tek amacı hastalıklardan korunmak değildir. Amaç tüm yaşam süresince iyilik halini geliştiren davranışları benimsemektir. Mevcut sağlık düzeyinin korunmasını, sağlığın geliştirilmesini ve iyileştirilmesini sağlayan davranışlar bütünüdür. Bunlar; yeterli ve dengeli beslenme, stres yönetimi, yeterli ve düzenli fiziksel aktivite, sigara gibi zararlı alışkanlıklardan uzak durma, kişisel sağlık sorumluluğu ve hijyendir²⁻⁴.

Sağlık çalışanları kişilerin sağlıklı yaşam biçimi davranışları sergilemesinde ve risk faktörlerinin ortadan kaldırılmasında önemli bir yere sahiptir. Sağlık çalışanları sosyal hayattaki yaşantıları ve mesleki sorumlulukları ile toplumu etkilemektedir. Özellikle bakım hizmetleri ve tedavide görev alacak, sağlık programlarında okuyan üniversite öğrencilerinin, olumlu yönde sağlıklı yaşam biçimi davranışı göstermeleri daha çok beklenmekte ve istenmektedir⁵⁻⁷.

Gençlik dönemi hem birey hem de toplum için oldukça önemlidir ve dinamik bir süreçtir. Bu dönemim başında üniversite eğitimi yer almaktadır. Üniversite eğitimi, bireylerin adolesan dönemden yetişkinlik dönemine geçtikleri, kişilik özelliklerinin ve karakterlerinin şekillendiği, yeni arkadaşlıkların, alışkanlıkların ve davranışların kazanıldığı bir dönemdir⁸. Bu dönemde, gençler tüm yaşamlarına yön verecek biyolojik, psikolojik ve sosyal gelişim içindedirler. Bu nedenle; sigara, alkol, madde kullanımı, sağlıksız beslenme ve yetersiz fiziksel aktivite, cinsel yolla bulaşan hastalıklar ve yaralanmalar gibi bazı riskler ile karşı karşıyadırlar⁹. Gençler bu yaşlarda, sağlıklı davranışları benimseyebilir ya da tam aksine sağlıksız yaşam biçimi davranışları kazanabilirler. Bu davranışlar sadece kendilerini değil tüm toplumu etkileyecektir³.

Toplumdaki her bireyin sağlığın geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için sorumluluk alması gerekir ancak sağlık çalışanlarına bu konuda daha fazla sorumluluk yuklenmiştir. Toplum tarafından rol model olarak grlrlenir. Doktor, hemşire, fizyoterapist gibi sağlık profesyonellerinin yanı sıra fizik tedavi teknikerleri de bu mesleklerden biridir¹⁰. Sağlık alışanları veya sağlık alanında eğitim gören öğrencilerin sağlıklı yaşam davranışları ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır^{2,3,5,7,9,10}. Öte yandan meslek ya da eğitim alanına göre yapılan karşılaştırmalar da mevcuttur^{5,11,12}. Literatürde birçok çalışma, sağlıklı yaşam davranışlarının; yaş, cinsiyet, vücut kitle indeksi (VKİ), ekonomik durum, sosyokültürel durum, beslenme, ve düzenli fiziksel aktivite ile ilgisini incelemiştir^{10,13-15}. Ancak n lisans fizyoterapi ğrencilerinin de dahil olduğu tek bir çalışmaya rastlanmıştır. Mevcut alışma ile bir meslek yüksekokulunda eğitim gören iki program bölüm ğrencilerinin sağlıklı yaşam biçimi davranışlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmaya Pamukkale Üniversitesi Sarayköy Meslek Yüksekokulu Fizyoterapi Programı ve Alternatif Enerji Kaynakları Programı'nda okuyan ve araştırmaya katılmaya gönüllü olan öğrenciler alındı. Öğrencilere Sağlıklı Yaşam Davranış leği (SYD) Google Forms kullanılarak yapılmıştır. Anketi online olarak dolduran öğrenciler çalışmanın rneklemi ni oluşturdu. Çalışmanın dahil edilme kriterleri; 18-25 yaş aralığında Sarayköy Meslek Yüksekokulu'nda okuyor olmak idi. Dışlama kriterleri ise; 25 yaş üstü ğrenci olmaktı. Katılımcıların sosyodemografik bilgileri kaydedildikten sonra Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranış leği uygulanmıştır. Ölçek 34 soru içermektedir. Her bir soru için; hiçbir zaman, nadiren, ara sıra, sık sık ve her zaman seçeneklerinden biri işaretlenir. Seçenekler 0-4 arasında puanlanır. 29, 33 ve 34. Sorular ters sorular olup, kodlamaları ters yapılır. 1-5. sorular ile egzersiz alışkanlığı; 6-13.sorular ile Kişisel Sağlık Sorumluluğu; 14-15. sorular ile uyku düzeni; 16-20. sorular ile sosya destek; 21-23. Sorular ile stres yönetimi; 24-28. sorular ile beslenme; 29-32. sorular ile sigara alışkanlığı; 33-34.sorular ile alkol kullanımı değerlendirilir. Verilen yanıtların değerleri toplanıp aritmetik ortalaması (Toplam skor/34) alındıktan sonra 25 ile çarpılarak en kk:0- en büyük:100 olacak şekilde ölçek skoru elde edilmiřtir¹⁶.

2.1.İstatistiksel Analiz

SPSS 25.0 (IBM SPSS Statistics 25 software (Armonk, NY: IBM Corp.) paket programı kullanılmıştır. Sürekli değerkenler ortalama \pm standart sapma ve kategorik değerkenler sayı ve yüzde olarak gösterilmiştir. Normal dağılıma uygunluk Kolmogorov Smirnov testi ile incelendi. Bağımsız grupların karşılaştırılmasında normal dağılım şartı sağlanmadığı için Mann-Whitney U testi kullanıldı.

3. BULGULAR

Çalışmaya yaş ortalaması ortalamaları 20.54 ± 5.14 olan, 131 gönüllü ğrenci (38 erkek, 83 kız) katıldı. Öğrencilerden 70'i (%53.4) Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü'nde; 61'i (%46.6) ise Elektrik Bölümü'nde öğrenim görmekte idi. 81 (%61.8) ğrenci birinci sınıf, 50 (%38.2) ğrenci ise ikinci sınıftır (izelge 1). İki bölüm arasında yapılan karşılaştırmada cinsiyet ve sınıf kademesi bakımından fark bulunmaktaydı ($p=0.00$, $p=0.01$). Sağlıklı Yaşam Davranışı

Ölçeği skorları hesaplanarak yapılan karşılaştırmada Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü ve Elektrik Bölümü öğrencileri arasında SYDÖ skorları bakımından anlamlı istatistiksel fark bulunmamıştır ($p= 0.274$). Her iki bölümün öğrencileri sınıf bazında karşılaştırıldığında ise Sarayköy Meslek Yüksekokulu birinci sınıf ve ikinci sınıf öğrencileri arasında anlamlı istatistiksel fark bulunmamıştır ($p=0.614$, $p=0.248$) (Çizelge 2).

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Pamukkale Üniversitesi Sarayköy Meslek Yüksekokulu'nda öğrenim gören Fizyoterapi Programı öğrencileri ile Alternatif Enerji Kaynakları Programı öğrencilerinin sağlık yaşam biçimi davranışlarını karşılaştırmayı amaçladığımız çalışmamızda, katılımcıların SYDÖ skorları bakımından iki bölüm arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Öğrenciler sınıf seviyelerine göre karşılaştırıldığında da anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Sağlıklı yaşam biçimi davranışları bireylerin mevcut sağlık durumlarını korumak ve geliştirebilmek için aldıkları sorumlulukların tamamıdır. Bu sorumluluk sağlıkları ile ilgili doğru bilgiye ulaşabilme ve sağlıkları konusunda seçim yapabilme becerisine sahip olmalarını gerektirir. Yetersiz fiziksel aktivite, yeterli ve dengeli beslenmemek, sigara, alkol ve benzeri madde alışkanlığı birçok hastalık ile ilişkilidir¹⁷. Bireylerin sağlıklı yaşam biçimine sahip olmalarını engelleyecek faktörlerden korunmasında sağlık çalışanları oldukça etkilidir. Sağlık çalışanlarının verdiği sağlık hizmetleri, eğitimler ve danışmanlık birçok kronik hastalığın önlenmesini ve yaşam kalitesinin arttırılmasını sağlar. Dolayısıyla sağlık programlarında okuyan öğrencilerin sağlıklı yaşam biçimi davranışlarını bilmeleri ve benimsemeleri beklenir^{2,5-7}. Bu sebeple literatürde sağlık programlarında okuyan öğrenciler ile ilgili yapılan çalışmalar mevcuttur.

Sağlık Yüksekokulu hemşirelik 4. Sınıfta okuyan 58 öğrencinin değerlendirildiği bir çalışmada halk sağlığı hemşireliği dersinin beslenme, kendini geliştirme, stres kontrolü, sosyal destek, sağlık sorumluluğu ve egzersiz gibi konularda olumlu etkisi olduğu belirlenmiştir. Sağlıklı yaşam biçimi davranışları, barınma, sosyal aktivitelere katılım ve bir hastalığa sahip olma gibi durumlardan etkilenmektedir. Araştırmanın sonuçları bu dersin; öğrencilere sağlıklı yaşam davranışları sergileme konusunda katkı sağladığı ve farkındalığı arttırdığını göstermiştir³.

Tıp Fakültesinde okuyan öğrencilerin sağlıklı yaşam davranış düzeylerini ve buna etki eden faktörlerin araştırıldığı diğer bir çalışmada ise 711 tıp öğrencisinin sağlıklı yaşam biçimi

davranışları orta düzeyde bulunmuştur. Ekonomik durum, yaş, egzersiz alışkanlığı ve boş zaman aktivitesi Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışı Ölçek puanına etki etmiştir. Alt ölçeklere bakıldığında erkek öğrenciler fiziksel aktivitede kadın öğrencilere göre daha yüksek puan alırken kadın öğrenciler kişilerarası ilişkide erkek öğrencilerden daha yüksek puan almışlardır. Sınıf seviyelerinde ise anlamlı bir fark görülmemiştir. Araştırmacılar geleceğin sağlıkçıları ve topluma örnek olacak tıp öğrencilerinin, sağlıklı yaşam biçimi davranışlarını benimsemeleri ve uygulamaları konusunda desteklenmeleri gerektiğini vurgulamışlardır¹⁰. Mevcut çalışmanın sonuçlarına göre de birinci ve ikinci sınıflar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Diğer yanda orta düzey sağlıklı yaşam biçimi davranışı konusunda da iki çalışma benzerlik göstermektedir.

Sağlık bilimleri son sınıf öğrencilerinin, sağlık sorumluluğu konusunda birinci sınıf öğrencilerinden daha yüksek puan aldığını gösteren çalışmalar vardır^{10,18}. Nacar ve ark., ise yaptıkları çalışmada düşük yaş grubunun daha yüksek puanlar aldığını bildirmiştir. Araştırmada, öğrencilerin sosyoekonomik düzeyi arttıkça, sağlıkta sorumluluk alma, fiziksel aktivite, beslenme ve manevi gelişim gibi puanlarını artmıştır. Literatürde benzer sonuçlar bulunmaktadır¹⁹. Sınıf seviyesinin sağlıklı yaşam biçimi davranışları üzerine etkisi konusunda çalışmaların çelişkili olduğu görülmektedir.

Anne ve babanın eğitim düzeyinin de farklı alt parametreleri farklı şekillerde etkilediği görülmüştür. Ebeveynlerin sağlık yaşam davranışları üzerindeki etkisi yeterince aydınlatılamamıştır. Ancak bireylerin sağlık durumları üzerindeki olumlu düşünceleri tüm alt parametrelerde olumlu etkiye sahiptir. Bu nedenle, bireylerin sağlığa verdikleri önem ölçüsünde olumlu davranış sergiledikleri, sağlıklı beslendikleri ve stresten korundukları söylenebilir¹⁰. Çalışmamızda sağlık davranışı üzerinde etkili olan diğer faktörler değerlendirilmemiş olup program ve sınıf değişkenleri esas alınmıştır.

Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü'nde okuyan öğrenciler arasında yapılan çalışmada fizyoterapi öğrencilerinin fiziksel aktivite düzeyi minimum seviyede bulunmuş, sağlıklı yaşam biçimi ise yüksek seviyede bulunmuştur. İki parametre arasında anlamlı pozitif ilişki bulunmuştur. Sonuç olarak ise öğrencilerin sağlıklı yaşam biçimi davranışının fiziksel aktivite düzeyini etkilediği belirtilmiştir². Lisans fizyoterapi öğrencilerinin sağlık yaşam davranışları yüksek bulunurken bizim çalışmamızda ön lisans fizyoterapi programı öğrencileri fark

oluşturmamıştır. Konu ilgili kullanılan farklı ölçekler mevcuttur. Çalışmamızda henüz yeni geliştirilen bir ölçek kullanılmıştır. Skorlara göre düzey belirlemesi olmasa da en küçük 0 puan, en yüksek 100 puan olması sebebiyle her iki program öğrencilerinin orta düzeyde puan aldığı söylenebilir.

Sağlık davranışı, sağlıklı olmak ve hastalıklardan korunmak için yapılan davranışların tamamıdır. Bireyler sağlıklarını geliştirmek için sağlık düzeylerine dikkat etmelidir. Sigara, alkol ve madde kullanımı, yanlış beslenme, kilonun kontrol edilememesi, fiziksel aktivite yetersizliği, şiddet, cinsel davranışlar, aile ile iletişim problemleri ve stres yönetimi gibi riskli davranışlardan kaçınılmalıdır^{2,11}. Tuygar ve diğerleri de sağlık hizmetleri meslek yüksekokulu öğrencilerinin sağlıklı yaşam biçimi davranışı puanını yüksek bulmuştur²⁰. Bu çalışmanın sonuçları bizim sonuçlarımız ile örtüşmemektedir.

Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu öğrencileri arasında yapılan çalışmada da öğrencilerin sağlıklı yaşam biçimi davranışı puanlarının yüksek olduğu gösterilmiştir¹¹. Literatürde fiziksel aktivite ve sağlık ile ilgili bölümlerde çalışmalar yapılmış ve alınan yüksek puanların eğitim sırasında sağlığın ve fiziksel aktivitenin öneminin öğretilmesine bağlanmıştır. Alınan eğitim ile yüksek puanların ilişkisinin belirlenmesi için farklı bölümlerde okuyan öğrencilerin de dahil edildiği çalışmaların yapılması gerektiği düşünülmüştür. Sonuç olarak fiziksel aktivite ve sağlıklı yaşam biçimini yaşam tarzı haline getiren kişiler çevreye örnek olacaktır². Çalışmamızda farklı sonuçların bulunması ön lisans program oluşu olabilir.

Birçok çalışmada, sağlıklı yaşam biçimi davranışlarını gerçekleştiren bireylerde, kronik hastalık görülme veya ölüm riskinin azaldığı bulunmuştur. Bu nedenle bireyler sağlıklı yaşam biçimi davranışlarını hayatlarına dahil ettiklerinde sağlıklı olma durumunu devam ettirebilir ve sağlık durumunu daha iyi bir düzeye getirebilirler²¹. Sağlık alanında görev alacak bireylerin sağlıklı yaşam biçimini benimsemesi ve topluma rol model olmaları beklenir. Ayrıca üniversite dönemi, mesleki eğitim dışında karakter gelişimi ve yaşamda büyük değişikliklerin olduğu, bu değişikliklerin sağlık davranışlarına da yansıdığı önemli bir süreçtir. Sağlıklı yaşam biçimi davranışı eğitim düzeyi ile ilişkilidir. Öğrencilerin sınıfları büyüdükçe sağlıklı yaşam biçimi davranışlarında artış olduğu gösterilmiştir^{22,23}. Yapılan çalışmalarda sağlık dışından bir grup olmaması sebebiyle karşılaştırma yapılamamıştır⁷. Çalışmamızda sağlık alanı dışında bir program ile karşılaştırma yapılmış ancak anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Sağlık programı öğrencilerinin sağlık okuryazarlığı ile sağlıklı yaşam biçimi davranışlarının değerlendirilmesi için yapılan başka bir çalışmada cinsiyetin, mali durumun, sağlık algısının, ebeveynlerin eğitiminin, öğrenim görülen alanın öğrencilerin ölçeklerden aldıkları puanlar üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Bireylerin sağlık okuryazarlığı yüksek ise daha fazla sağlıklı yaşam biçimi davranışına sahiptir. Kadın öğrenciler erkek öğrencilerden, fakültede okuyan öğrenciler meslek yüksekokulunda okuyan öğrencilerden daha yüksek puan almışlardır. Ebelik öğrencileri, tıbbi laboratuvar teknikleri, diyaliz ve fizyoterapi öğrencilerinden; tıbbi laboratuvar teknikleri öğrencileri ise hemşirelik öğrencilerinden daha yüksek bir puan almışlardır. Dördüncü sınıf öğrencilerinin ortalama puanları ise 1. ve 2. sınıf öğrencilerinden yüksektir. Maddi durum iyi ise puan daha yüksektir. Ebeveynlerin eğitimine göre; anne ilköğretim ve lise mezunu ise okuma yazma bilmeyenlerden, baba lise mezunu ise okuma yazma bilmeyenlerden daha yüksek puan almıştır⁵. Fizyoterapi öğrencilerinin de yer aldığı çalışmada birçok faktör dikkate alınmıştır. Sınıflar ve programlar arasında fark bulunmuştur. Biz çalışmamızda anlamlı bir fark bulmadık. Bunun bir sebebi de örneklemin küçük olması olabilir.

4.1. Limitasyonlar

Çalışmaya sadece bir meslek yüksekokulunda öğrenim gören öğrenciler dahil edilebilmiştir. Bu nedenle sonucun genellenmesi zordur. Çalışmamızın diğer bir kısıtlılığı ise kullandığımız anketin yeni geliştirilmiş olup öğrencilerin aldığı skorların karşılığının karşılaştırılması mümkün olmamıştır. Sağlıklı yaşam biçimi davranışlarını etkileyen diğer faktörlerin etkisi incelenmemiştir.

4.2. Sonuç

Çalışmamızda bir sağlık programı olan fizyoterapi ile farklı bir alanda eğitim veren alternatif enerji kaynakları programı öğrencilerini karşılaştırdık. Farklı ön lisans programlarında okuyan öğrencilerin sağlıklı yaşam biçimi davranışları bakımından farklılık bulunmamıştır. Sağlıklı yaşam davranışlarının benimsenmesine birçok faktör etki etmektedir²⁴. Toplumda her yaş grubu için sağlığı koruyucu, iyileştirici ve geliştirici önlemlerin alınması gerekmektedir. Sağlıklı yaşam davranışlarının benimsetilmesi yaşam kalitesini arttıracaktır⁴. Bu nedenle program ve sınıf ayrımı yapılmaksızın öğrencilerin sağlıklı yaşam davranışları konusunda eğitilmesi ve yeterli fiziksel aktivite yapmalarının teşvik edilmesi faydalı olacaktır.

Çizelge 1: Demografik veriler

Değişkenler	Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü Min-Maks	Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü Ort ± Sd	Elektrik Bölümü Min-Maks	Elektrik Bölümü Ort ± Sd	p
Yaş (yıl)	18-25	20.52±4.76	18-25	20.57±5.19	0.841
VKİ (kg/cm ²)	16.42-22.29	21.38±4.4	17.15-31.22	23.39±3.73	0.088
	Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü n (%)		Elektrik Bölümü n (%)		
Cinsiyet					0.00
Kadın	63 (90)		30 (49.2)		
Erkek	7 (10)		31 (50.8)		
Sınıf					0.01
1. Sınıf	36 (51.4)		45 (73.8)		
2. Sınıf	34 (48.6)		16 (26.2)		

VKI: Vücut Kütle İndeksi

Çizelge 2: SYDÖ skorları karşılaştırması

Değişkenler	Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü Min-Maks	Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü Ort ± Sd	Elektrik Bölümü Min-Maks	Elektrik Bölümü Ort ± Sd	p
1. Sınıf Skorlar	22.06-91.18	53.94±16.23	25.74-99.26	53.41±19.24	0.614
2. Sınıf Skorları	33.09-79.41	54.13±12.42	28.68-80.88	49.31±12.36	0.248
Bölüm Skorları	22.06-91.18	54.03±14.40	25.74-99.26	52.33±17.69	0.274

KAYNAKÇA

- Bozkuş, T., Türkmen, M., Kul, M., Özkan, A., Öz, Ü. & Cengiz, C. Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu'nda Öğrenim Gören Öğrencilerin Fiziksel Aktivite Düzeyleri ile Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışlarının Belirlenmesi ve İlişkilendirilmesi. International Journal of Sport Culture and Science, 1(3), 49-65, 2013. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/intjcs/issue/8659/108013>
- Şafak, M., Bekar, Z., Başkurt, Z., Başkurt, F. Fizyoterapi Öğrencilerinin Fiziksel Aktivite Düzeyleri ile Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışlarının İlişkilendirilmesi, Health Academy Kastamonu, 7(3), 481-493, 2022. <https://doi.org/10.25279/sak.550984>
- Tambağ, H., Turan, Z. Öğrencilerin Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışlarına Halk Sağlığı Hemşireliği Dersi'nin Etkisi, Hemşirelikte Araştırma Geliştirme Dergisi, 14(1), 46-55, 2012. <https://doi.org/10.69487/hemarge.695425>

4. Pehlivan, Z., Ada, E. N., Öztaş, G. (2017). Ev Kadınlarının Sosyal Görünüş Kaygıları ve Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışları. Spor Bilimleri Dergisi, 28(1), 11-23, 2017. <https://doi.org/10.17644/sbd.337990>
5. Kazak, A., Başaran, F., Coşkun, N., Karakullukçu, S. Evaluation of Health Literacy and Healthy Lifestyle Behaviors of University Students that Study in Health-Related Department, Kocaeli Med J, 10(3), 273-283, 2021. <https://doi.org/10.5505/ktd.2021.22438>.
6. Cürçani, M., Tan, M., Özdelikara A. Hemşirelerin Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışları ve Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi, TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 9(5), 487-92, 2010.
7. Kasap Demir, B., Şentürk, S., Kırkalı, M., Atak, A. Genç Sağlıkçılarda Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışları Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 4(1), 7-11, 2019.
8. Cohn, LD., Macfarlane, S., Yanez, C., Imai WK. Risk-Perception: Differences Between Adolescents and Adults, Health Psychology, 14(3), 217, 1995. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.14.3.217>
9. Orhan Özgül, Ö., Saatci, E. Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Öğrencilerinin Sağlık Anksiyete Düzeyleri ve Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışları, Türk Aile Hek Derg, 25(3), 84-90, 2021.
10. Gömleksiz, M., Yakar, B., Pirinççi, E. Tıp Fakültesi Öğrencilerinin Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışları ve İlişkili Faktörler, Dicle Tıp Dergisi, 47(2), 347-358, 2020. <https://doi.org/10.5798/dicletip.755736>
11. Bozkuş, T., Türkmen, M., Kul, M., Özkan, A., vd. Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu'nda Öğrenim Gören Öğrencilerin Fiziksel Aktivite Düzeyleri ile Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışlarının Belirlenmesi ve İlişkilendirilmesi, International Journal of Sport Culture and Science, 1(3), 49-65, 2013.
12. Selçuklu Çetiner, H. *Hastane Çalışanlarında Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışlarının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.
13. Cihangiroğlu, Z., Deveci, E. Fırat Üniversitesi Elazığ Sağlık Yüksekokulu Öğrencilerinin Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışları ve Etkileyen Faktörler, Fırat Tıp Dergisi, 16, 78-83, 2011.
14. Örnek, Ö.K., Kürklü, A. Üniversite Öğrencilerinin Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışları, Öz Etkililik-Yeterlilik Düzeyleri ve Etkileyen Faktörler, Türkiye Klinikleri Hemşirelik Bilimleri Dergisi, 9, 207-217, 2017.
15. Vural, P.I., Bakır N. Meslek Yüksekokulu Öğrencilerinin Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışları ve Etkileyen Faktörler, Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 6, 36-42, 2015.
16. Sayılı, U., Sak, K., Aydın, S.N., Kara, B., Turgut, D., Bisgin, O. Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranış Ölçeğinin Geliştirilmesi, Geçerliliği ve Güvenilirliği, Discover Public Health, 21, 62, 2024. | <https://doi.org/10.1186/s12982-024-00186-x>
17. Devran Enginoğlu, H., Beyazıt Üçgün, A., Mustafa Volkan Yürekli, M.V., Uskun, E. Hastane Çalışanlarında Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışlarının Belirlenmesi, Türkiye Halk Sağlığı Dergisi, 2021, 19(1), 55-68, 2021.
18. Bozhüyük, A., Özcan, S. Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Öğrencilerinin Sağlıklı Yaşam Davranışları, Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 41, 664-74, 2016
19. Nacar, M., Baykan, Z., Cetinkaya, F., vd. Health Promoting Lifestyle Behaviour in Medical Students: A Multicentre Study from Turkey, APJCP, 15, 8969-74, 2014.

20. Tuygar, Ş.F., Arslan, M. Sağlık hizmetleri meslek yüksekokulu öğrencilerinin sağlıklı yaşam biçimi davranışlarının incelenmesi, *SDÜ Sağlık Bilimleri Dergisi*, 6(2), 59-66, 2015.
21. Özer, E., Yılmaz, N. Sağlıklı Yaşam Farkındalığı: Bir Ölçek Geliştirme Çalışması, *J Tradit Complem Med.*, 3(1),47-60, 2020. doi: 10.5336/jtracom.2019-72138
22. İlhan, N., Batmaz, M., Akhan, L. U. Üniversite Öğrencilerinin Sağlıklı Yaşam Biçimi Davranışları, *Maltepe Üniversitesi Hemşirelik Bilim ve Sanatı Dergisi*, 3(3), 34-44, 2010.
23. Can, G., Ozdilli, K., Erol, O., Unsar, S., Tulek, Z., Savaser, S., Ozcan, S., Durna, Z. Comparison of The Health-Promoting Lifestyles of Nursing and Non-Nursing Students In Istanbul, Turkey. *Nurs Health Sci.*, 10(4), 273-80, 2008.
24. Zaybak, A., Fadıloğlu, Ç. Üniversite Öğrencilerinin Sağlığı Geliştirme Davranışı ve Bu Davranışı Etkileyen Etmenlerin Belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*, 20(1), 77-95, 2004.

POSTMENAPOZAL KADINLARDA FİZİKSEL AKTİVİTE DÜZEYİNİN YORGUNLUK VE ENERJİ DÜZEYİNE ETKİSİ

Doç. Dr. Şule ŞİMŞEK

Pamukkale Üniversitesi, Sarayköy Meslek Yüksekokulu, Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü

sules@pau.edu.tr - ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8065-6461>

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Nur OYMAK SOYSAL

Pamukkale Üniversitesi, Sarayköy Meslek Yüksekokulu, Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü

aysenuroymak@gmail.com - ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5383-7937>

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, post menapozal kadınlarda fiziksel aktivite düzeyinin yorgunluk ve enerjiye etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Method: Denizli ili Merkez Efendi ilçesinde yaşayan gönüllü olarak çalışmaya katılmayı kabul eden 35-65 yaş aralığında toplam 293 kadın katılımcı çalışmaya dahil edildi. Katılımcılar sosyodemografik veriler (yaş, cinsiyet, VKİ), menapoz süresi, tipi, yorgunluk ve enerji düzeyi bakımından değerlendirildi. Katılımcıların yorgunluk ve enerji düzeyleri Yorgunluk için Görsel Analog Ölçeği ile değerlendirildi.

Bulgular: Katılımcıların yaş ortalamaları $54,31\pm 6,27$ yıl, menapoz yaş ortalaması $46,24\pm 4,73$ yıldır. Katılımcıların fiziksel aktivite düzeyi arttıkça yorgunluk düzeyi azalırken ($p=0,031$), enerji düzeyi istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artmaktadır ($p=0,018$).

Sonuç: Sonuç olarak, postmenapozal kadınlarda fiziksel aktivite düzeyi arttıkça yorgunluk azalmakta, enerji düzeyi ise artmaktadır. Postmenapozal kadınların fiziksel aktivite düzeylerini arttırmaya yönelik yapılan müdahaleler genel sağlık durumunda artış sağlayabilmekle kalmayıp menapoz sonrası görülen yorgunluk şikayetinin de azalmasını sağlayabilecektir.

Anahtar kelimeler: Menapoz, Fiziksel aktivite düzeyi, Yorgunluk

EFFECT OF PHYSICAL ACTIVITY LEVEL ON FATIGUE AND ENERGY LEVELS IN POSTMENOPAUSAL WOMEN

ABSTRACT

Aim: This study aimed to examine the effects of physical activity level on fatigue and energy in postmenopausal women.

Method: A total of 293 female participants aged 35-65 years, living in Merkez Efendi district of Denizli province and accepting to participate in the study as volunteers, were included in the study. Participants were evaluated in terms of sociodemographic data (age, gender, BMI), menopause duration, type, fatigue and energy level. Participants' fatigue and energy levels were evaluated with Visual Analog Scale for Fatigue Scale.

Findings: The mean age of the participants was 54.31 ± 6.27 years, and the mean menopausal age was 46.24 ± 4.73 years. As the physical activity level of the participants increased, fatigue level decreased ($p=0.031$), and energy level statistically significantly increased ($p=0.018$).

Conclusion: As a result, fatigue decreased and energy level increased as the physical activity level of postmenopausal women increased. Interventions aimed at increasing the physical activity levels of postmenopausal women may not only improve their general health status but also reduce fatigue complaints after menopause.

Keywords: Menopause, Physical activity level, Fatigue

GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü menopoza, yumurtalık fonksiyonlarının durması nedeniyle östrojen hormon seviyelerinin azalması sonucu bir kadında bir yıl boyunca adet görmeme durumu olarak tanımlamaktadır (1). Menopoz yaşı toplumdan topluma değişmektedir. Dünyada menopoz yaşı 51 olarak kabul edilirken, Türkiye'de 47 olarak kabul edilmektedir (2). Bu nedenle kadınlar yaşam sürelerinin üçte birini menopozun etkileri ve sorunlarıyla geçirmektedir (3). Menopoz dönemi premenopoz, menopoz ve postmenopozdan oluşur. Premenopoz döneminde ilk semptomlar ortaya çıkar; menopoz dönemi son adet kanamasının meydana geldiği dönemdir ve postmenopoz dönemi ise menopozdan bir yıl sonra başlayıp yaşlılığın başlangıcına kadar süren evredir (4).

Menopoz, bir kadında hormonal değişikliklerin yanı sıra ailede, iş hayatında ve öz algıda değişikliklerin yaşandığı bir dönemdir. Bu dönemde östrojen eksikliğine bağlı olarak ortaya çıkan fizyolojik ve psikososyal değişiklikler, farklı yoğunluk ve sürelerde kendini gösterir ve fiziksel ve ruhsal sağlığı olumsuz etkiler. Sıcak basması, terleme, yorgunluk, uykusuzluk ve gerginlik gibi erken sağlık sorunlarına ek olarak, osteoporoz, osteoporotik kırıklar, ürogenital semptomlar ve kardiyovasküler hastalıklar gibi geç dönem sağlık sorunları da görülebilir. Bu süreçte kadınlar yaşlanma, doğurganlık kaybı, fiziksel görüntüdeki değişiklikler, sağlık sorunları ve sosyal ve sembolik anlamlarla birlikte yaşamlarını olumsuz etkiler (5).

Fiziksel aktivite, günlük yaşamda iskelet kasları kullanılarak yapılan ve enerji harcaması gerektiren herhangi bir hareket olarak tanımlanır. Düzenli fiziksel aktivite ve egzersiz düşük maliyetli ve düşük risklidir ve kardiyovasküler dayanıklılık, vücut kompozisyonu, kas gücü ve dayanıklılığı, esneklik gibi sağlıkla ilgili parametreleri koruyup kontrol etmenin yanı sıra birçok hastalığın ve semptomun tedavisinde etkili bir sağlıklı yaşam tarzı davranışıdır (6).

Literatürdeki çalışmalar egzersizin menopoz semptomları, yaşam kalitesi ve menopoz dönemindeki kadınlarda günlük yaşam aktiviteleri üzerindeki etkilerini incelerken, fiziksel aktivite üzerine yapılan çalışmaların genellikle perimenopozal döneme ait olduğu gözlemlenmiştir (3, 7,8).

Fiziksel aktivitenin menopoz semptomlarını azaltmada koruyucu etkisi vurgulanmıştır ancak kesin sonuçlara ulaşılamamıştır. Bu nedenle çalışmamız, postmenopozal kadınların fiziksel aktivite düzeyinin menopoz semptomu olan yorgunluk ve enerji düzeyine etkisini incelemeyi amaçlamıştır. Çalışmanın sonuçlarının, postmenopozal kadınların fiziksel aktivite düzeyinin planlanmasında fizyoterapistlere rehberlik etmesi beklenmektedir.

GEREÇ ve YÖNTEM

Çalışmaya Denizli ili Merkez Efendi ilçesinde yaşayan gönüllü olarak çalışmaya katılmayı kabul eden 35-65 yaş aralığında toplam 293 kadın katılımcı çalışmaya dahil edildi. Çalışmamız Temmuz-Eylül 2024 tarihleri arasında gerçekleştirildi. Çalışmaya dahil etme kriterleri, 35-65 yaş aralığında olmak, son adet görme tarihinden en az 1 yıl geçmiş olmaktır. Çalışmadan hariç tutma kriterleri, kronik yorgunluk sendromu öyküsü olmaktır.

Katılımcıların sosyodemografik bilgileri kaydedildikten sonra (yaş, cinsiyet, VKİ), menapoz süresi, tipi sorgulandı. Katılımcıların fiziksel aktivite düzeyi Uluslararası Fiziksel Aktivite Anketi Kısa Formu ile değerlendirildi (9). Bu anketin geçerlik güvenirliği Öztürk ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir (10). Anketin total skor hesaplaması, son 1 hafta içerisindeki fiziksel aktivitenin türü için belirlenmiş metabolik eşdeğerlik (MET) değeri, aktivite süresi ve aktivite frekansı çarpılarak toplam değer hesaplanmasında prensibine dayanır. Buna göre katılımcılar inaktif, minimal aktif ve yeterli fiziksel aktivite düzeyi olarak sınıflandırılır (9).

Katılımcıların yorgunluk düzeyi ise Yorgunluk için görsel benzerlik skalası (VAS-F) ile değerlendirildi. Skala Lee ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş, Yurtsever ve arkadaşları tarafından ise Türkçeye uyarlanmış ve geçerlilik ve güvenirlik çalışması yapılmıştır (10,11). 18 maddeden oluşan skala yorgunluk ve enerji olmak üzere 2 alt boyutludur (11). Skala 10 cm'lik yatay satırlardan oluşmaktadır. Yorgunluk alt boyutu 0-130 arasında skorlanırken, enerji alt boyutu 0 - 50 arasında skorlanır. Yorgunluk skoru arttıkça enerji skoru azaldıkça yorgunluk şiddeti artar (11-13).

İstatistiksel Analiz

Veriler SPSS 25.0 kullanılarak analiz edildi. Değişkenler ortalama \pm standart sapma veya sayı ve yüzde olarak ifade edildi. Normal dağılıma uygunluk Kolmogorov Smirnov testi ile analiz edildi. Fiziksel aktivite düzeyinin yorgunluk ve enerji düzeyine etkisi One Way Anova testi kullanılarak incelendi.

BULGULAR

Katılımcıların yaş ortalaması $54,31 \pm 6,27$ olup menapoz yaşı ortalaması $46,24 \pm 4,73$ idi. Katılımcıların %86'sı spontan olarak menapoz dönemine girmiş iken ($n=280$), VKİ ortalamaları $28,48 \pm 4,14$ 'tür. Katılımcıların %85'i ($n=249$) sigara kullanıyor iken %4,4'ünün ($n=13$) alkol alışkanlığı olduğu tespit edildi (Tablo 1). Katılımcıların fiziksel aktivite düzeyleri arttıkça yorgunluk düzeylerinin azaldığı ($p=0,031$) enerji düzeylerinin ise arttığı ($p=0,018$) tespit edilmiştir (Tablo 2).

TARTIŞMA

Denizli Merkezefendi ilçesinde ikamet eden ve postmenopozal dönemdeki kadın katılımcıların fiziksel aktivite düzeylerinin yorgunluk düzeylerine etkisini incelediğimiz bu çalışmada fiziksel aktivite düzeyi arttıkça yorgunluk düzeyinin azaldığını ve enerji düzeyinin arttığını tespit ettik.

Menopoz dönemi hormonal, fiziksel ve duygusal değişikliklere neden olur. Bu değişiklikler tüm kadınlar için aynı seviyede değildir, çünkü kültürel farklılıklardan, eğitim seviyesinden ve bazı kişisel faktörlerden etkilenirler (14). Kadınların menopoz sırasında yaşadıkları semptomlar için temel ve en etkili tedavi seçeneği olarak kabul edilen Hormon Replasman Terapisi, bazı riskler ve yan etkilere ilişkin endişeler nedeniyle kadınları alternatif yöntemlere (yaşam tarzı değişiklikleri, kilo kontrolü, fiziksel aktivite) yönlendirmektedir (15). Menopoz semptomları ile fiziksel aktivite düzeyleri arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalarda farklı sonuçlarla elde edilmiştir. Fiziksel aktivite düzeyindeki artışın menopoz semptomlarını azalttığını bildiren çalışmalara rastlanır iken, menopoz semptomlarının fiziksel aktivite ile azalmadığı, ancak postmenopozal dönemde yaşam kalitesinin arttığını bildiren çalışmalar da mevcuttur (16). Çelişkili veriler arasında, fiziksel aktivitenin bu semptomlar üzerinde olumlu veya olumsuz bir etkisi olup olmadığını belirlemek için yeterli kanıt olmadığını gösteren çalışmalar da bildirilmiştir (17). Bu nedenle var olan fiziksel aktivite düzeyinin menopoz semptomlarından biri olan yorgunluğa etkisini inceleyerek bu konuda literatüre ışık tutmak istedik ve fiziksel aktivite düzeyinin yorgunluk semptomunu etkilediğini tespit ettik. Postmenopozal kadınlarda

fiziksel aktivite seviyesi arttıkça yorgunluğun azaldığını tespit ettik. Bu anlamda menapozal semptomlardan biri olan yorgunluk seviyesini azaltmak için fiziksel aktivite seviyesini artıracak stratejiler geliştirmek akılcı bir yaklaşım olacaktır.

Fiziksel aktivite düzeyi ile menopoz semptomları arasındaki ilişki, aktivitenin yoğunluğuna bağlı olarak değişebilir (18). Bir çalışma, fiziksel olarak aktif veya minimum aktif olan kadınların daha az somato-vegetatif, psikolojik ve ürogenital şikayetlere sahip olduğunu göstermiştir. Kadınların fiziksel aktivite seviyesi ile eklem-kas bozuklukları, uyku sorunları, vajina kuruluğu, cinsel sorunlar ve idrar sorunları şeklinde somatik şikayetler arasında istatistiksel olarak anlamlı negatif bir korelasyon bulunmuştur. Kilo kontrolü ve düzenli fiziksel aktivite, menopoz semptomları olan kadınlar için yaşam tarzı değişiklikleri olarak önerilmiştir (14). Fiziksel aktivite seviyesi ile menopoz semptomları arasındaki ilişkiyi inceleyen başka bir çalışmada, yüksek yoğunluklu egzersizin menopoz semptomları üzerinde çok az etkisi olduğu; boş zamanlarda ve bahçede, işte veya bir şey taşıırken yapılan hafif fiziksel aktivitenin menopoz semptomlarında daha etkili olduğu görülmüştür. Düzenli fiziksel aktivite yapan kişilerin kendilerini daha rahat hissettikleri, menopoz semptomlarının daha az şiddetli ve seyrek yaşandığı bildirilmektedir (19). Biz çalışmamızda fiziksel aktivite düzeyi yeterli olan postmenapozal kadınların daha az yorgunluk yaşadıklarını tespit ettik.

Östrojen eksikliğinden kaynaklanan serotonin hormonundaki azalma, kadınların uykuya dalmasını zorlaştırır ve uykusuzluğa neden olur (20). Yorgunluğun nedenlerinden biri ise uyku kalitesindeki bozulmadır. Çalışmamızda uyku düzeni ile ilgili soru sormadık. İleride yorgunlukla ilgili çalışma planlanırken postmenapozal kadınlarda yorgunluğu etkileyebilecek değişkenlerden biri olan uyku kalitesinin değerlendirilmesi yorgunluğun daha kapsamlı ele alınmasını sağlayacaktır.

Çalışmamızın kısıtlılığı yorgunluğu etkileyebilecek diğer değişkenlerin incelenmemiş olmasıdır. Yorgunlukla ilişkili faktörler açısından aşırı efor, uyku bozuklukları, stres, depresyon, omuz ağrısı veya sakatlığı, enfeksiyonlar, endokrin bozuklukları ve metabolik durumlar gibi mekanizmalar önerilmiştir. Bu nedenle yorgunluğu etkileyen diğer faktörlerin de ele alınması fiziksel aktivite düzeyinin yorgunluk üzerindeki etkisini net olarak belirleyecektir.

Sonuç olarak postmenapozal kadınların fiziksel aktivite düzeyleri yorgunluk şikayetini etkilemektedir. Bu nedenle yorgunluk semptomunu azaltmak için postmenapozal kadınlara fiziksel aktivite düzeyini artırma yönünde yaşam tarzı değişikliklerinin yapılması önemlidir. Kadın sağlığı ile ilgilenen fizyoterapistlerin yorgunluk şikayeti ile başvuran danışanlarına aktivite düzeylerini artırıcı egzersiz programları düzenlemesi önerilir.

KAYNAKLAR

1. http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_866.pdf (Erişim Tarihi: 9.12.2024)
2. <https://www.jcog.com.tr/article/en-editorials-66894.html> (Erişim Tarihi: 9.12.2024)
3. Kharbouch, B.S., Sahin, H.N. Determining the quality of life in menopausal periods. IUFN J Nurs. 2007, 15(59), 82-90.
4. Sherman, S. Defining the menopausal transition. The American Journal of Medicine 2005, 11,8(12),3-7.
5. Bener, A., Falah, A. A measurement-specific quality-of-life satisfaction during premenopause, perimenopause and postmenopause in Arabian Qatari women. J Midlife Health. 2014,5(3),126- 34.
6. Alpözgen, A.Z., Özdinçler, A.R. Physical activity and preventive effect: Review. HSP. 2016, 3(1), 66-72.

7. Riesco, E., Choquette, S., Audet, M., Tessier, D., Dionne, I.J. Effect of exercise combined with phytoestrogens on quality of life in postmenopausal women. *Climacteric*. 2011,14(5),573-80.
8. Daley, A., Stokes-Lampard, H., Thomas, A., Macarthur, C. Exercise for vasomotor menopausal symptoms. *Cochrane Database Syst Rev*. 2014, 11,CD006108.
9. Craig, C.L., Marshall, A.L., Sjostrom, M., Bauman, A.E., Booth, M.L., Ainsworth, B.E., International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc* 2003,35,1381-95.
10. Lee, K.A., Hicks, G., Nino-Murcia, G. Validity and reliability of a scale to assess fatigue. *Psychiatry Res*, 1991, 36(3), 291-8.
11. Yurtsever, S., Bedük, T. Hemodiyaliz hastalarında yorgunlugun degerlendirilmesi. *Hemsirelikte Arastırma Gelistirme Dergisi*, 2003, 5(2), 3-13.
12. Can, R., Ege, E., Akın, B., Koçoğlu, D. Dogum sonu ilk üç aylık dönemde annedeki yorgunluk düzeyi ve ilişkili faktörler. *Maltepe Üniversitesi Hemsirelik Bilim ve Sanatı Dergisi*, 2010, 3(2), 62-70.
13. Aktas, N., Karaçam, Z. Dogum sonrası yorgunluk, kadının özbakım gücü ve ilişkili faktörler. *Tepecik Eğitim ve Arastırma Hastanesi Dergisi*, 2017, 27(3), 186-196.
14. Tan, M.N., Kartal, M., Guldal, D. The effect of physical activity and body mass index on menopausal symptoms in Turkish women: a cross-sectional study in primary care. *BMC Womens Health*. 2014, 14(1),38.
15. Whitcomb, B.W., Whiteman, M.K., Langenberg, P., Flaws, J.A., Romani, W.A. Physical activity and risk of hot flashes among women in midlife. *J Womens Health (Larchmt)*. 2007,16,124-33.
16. Riesco, E., Choquette, S., Audet, M., Tessier, D., Dionne, I.J. Effect of exercise combined with phytoestrogens on quality of life in postmenopausal women. *Climacteric*. 2011,14(5),573-80.
17. Daley, A., Stokes-Lampard, H., Thomas, A., Macarthur, C. Exercise for vasomotor menopausal symptoms. *Cochrane Database Syst Rev*. 2014, 11,CD006108.
18. Daniel, M., Martin, A.D., Carter, J. Opiate receptor blockade by naltrexone and mood state after acute physical activity. *Br J Sports Med* 1992, 26,111-115.
19. Skrzypulec, V., Dąbrowska, J., Drosdzol, A. The influence of physical activity level on climacteric symptoms in menopausal women. *Climacteric*. 2010,13(4),355-61.
20. Simon, J.A., Reape, K.Z. Understanding the menopausal experiences of Professional women. *Menopause*. 2009, 16(1),73-6.

Tablo 1: Demografik veri tablosu

Değişkenler	Min-Maks	Ort ± SS
Yaş (yıl)	36-65	54,31±6,27
VKİ (kg/cm ²)	18,21-40,58	28,48±4,14
Menapoz Yaşı (yıl)	26-56	46,24±4,73
Sigara alışkanlığı	n	%
Var	249	85
Yok	44	15
Alkol alışkanlığı		
Var	13	4,4
Yok	280	95,6
Menapoz tipi		
Spontan	252	86
Cerrahi	41	14

VKİ: Vücut Kütle İndeksi; kg: kilogram; cm²: santimetrekare; Min: Minimum; Max: Maksimum; Ort: Ortalama; SS: Standart Sapma

Tablo 2: Fiziksel aktivite düzeyinin enerji ve yorgunluğa etkisi

Değişkenler	Fiziksel Aktivite Düzeyi			P*
	İnaktif (n=193)	Düşük (n=81)	Yeterli (n=15)	
	Ort ± SS	Ort ± SS	Ort ± SS	
Yorgunluk	58,59 ± 24,28	51,44±20,52	48,43±25,33	0,031
Enerji	23,69±11,24	27,3±9,34	44,07±9,50	0,018

Ort: Ortalama; SS: Standart Sapma: *: Tek Yönlü Varyans Analizi

COVID-19 GEÇİREN BİREYLERDE EGZERSİZ EĞİTİMİ

Doç. Dr. Gülşah BARĞI

İzmir Demokrasi Üniversitesi,
gulsah.bargi@idu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-5243-3997

Prof. Dr. Özlem ÇİNAR ÖZDEMİR

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi,
ozlemcinarozdemir@gmail.com - ORCID ID: 0000-0002-9205-5652

ÖZET

31 Aralık 2019’da ilk vakanın Çin’de bildirilmesiyle tüm dünyada etkisini gösteren COVID-19 pandemisi toplumun her kesimini derinden etkilemiştir. Bireylerin solunum sistemi dahil olmak üzere birçok sistem, doku ve organında bozukluklara yol açabilen COVID-19’un etkileri şiddetine göre değişebilmektedir. Ayrıca COVID-19 geçirmiş olan bireylerin kas-iskelet ve kardiyovasküler sistemleri de olumsuz etkilenmektedir. Bu sebeple COVID-19 geçirmiş bireylerde kas kuvveti ve endüransı ile kardiyovasküler endüransta azalma görülebilmektedir. Pandeminin en şiddetli etkisini gösterdiği ilk yılda egzersiz eğitiminin etkinliği henüz net değildi. Bu sebeple bu derleme çalışmasında, Mart 2020 ile Mart 2021 tarihleri arasındaki literatürü tarayarak COVID-19 geçirmiş bireylerde egzersiz eğitimleri uygulamaları hakkında bilgi vermeyi amaçladık. Literatür taraması “egzersiz, fiziksel aktivite, SARS-CoV-2, COVID-19” anahtar kelimeleri kullanılarak “Google Akademik, PubMed ve Scopus” üzerinden elektronik veri tabanları üzerinden gerçekleştirildi. Bu tarihlerde literatürde yayınlanan çalışmalar COVID-19’lu bireylere yönelik rehabilitasyon uygulamaları ve egzersizlerin gerekliliği konusunda hemfikirdir. Ancak bu konudaki çalışmalar çoğunlukla derleme düzeyinde kalmıştır. Bunun haklı sebepleri olarak en başta COVID-19’un hızlı yayılma ve ciddi düzeyde mortalite ve morbidite oranları gösterilmiştir. Hızlı bir şekilde gelişen bu süreçte yaşam da çok hızlı değiştiğinden henüz oldukça kısıtlı sayıda bu hastalara yönelik yapılan ileriye dönük çalışmalar mevcuttur. Bu sebeple, ileri derleme çalışmalarında COVID-19 pandemisinin etkisinin azaldığı süreçteki çalışmaların sonuçlarının verilmesini önermekteyiz.

Anahtar Kelimeler: COVID-19, egzersiz, fiziksel aktivite, SARS-CoV-2.

1. GİRİŞ

Koronavirüs ilk olarak Çin’in Wuhan kentinde açıklanamayan alt solunum yolu enfeksiyonlu vaka salgını olarak 31 Aralık 2019’da Dünya Sağlık Örgütü’ne bildirilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu bu hastalığın virüs kaynaklı olduğu ve bu virüsün de 2019 koronavirüs hastalığının kısaltması olan COVID-19 olduğu Dünya Sağlık Örgütü tarafından 11 Şubat 2020’de açıklanmıştır (1). Altta yatan sağlık sorunlarına bağlı olarak dünya genelinde her beş kişiden biri şiddetli COVID-19 hastalığı riski altındaydı (2). Dünya Sağlık Örgütü tarafından 9 Şubat 2021’de yayınlanan rapora göre dünya genelinde bu tarihe kadar görülen toplam vaka sayısı 105.429.382 iken ölüm sayısı 2.302.614’tü. Türkiye’deyse ilk vakanın görüldüğü 11

Mart 2020'den 9 Şubat 2021'e kadar olan süreçte toplam vaka sayısı 2 milyonu geçmişti, ölüm sayısı da 26.000'in üzerindeydi (3).

COVID-19'dan etkilenen bireylerde solunum sistemi sıklıkla etkilenmektedir. Ancak bu virüs vücuttaki diğer sistemleri de etkilemektedir. Özellikle COVID-19'dan şiddetli derecede etkilenen bireylerde genellikle birden fazla organ hasarı mevcuttur. COVID-19; vasküler endotel hücreler, akciğerler, kalp, beyin, böbrekler, bağırsak, karaciğer, farinks ve diğer dokularda bulunan anjiyotensin dönüştürücü enzim 2 reseptörüne bağlanır. Dolayısıyla bu organlara doğrudan zarar verebilmektedir. Bu bireylerde koagülasyon ve vasküler endotel bozuklukları yaygın görülmekle birlikte kalp ve böbrek disfonksiyonu, inflamasyon, ödem, lenfositopeni, derin ven trombozu, venöz tromboembolizm, pulmoner emboli, sistemik ve pulmoner arteriyel tromboz ve emboli, iskemik inme, akut solunum yetmezliği sendromu ve miyokard enfarktüsü de rapor edilmiştir (4).

COVID-19'dan etkilenen bireylerde genel olarak yüksek ateş, öksürük, dispne, göğüste sıkışma, hemoptizi, bulantı, kusma, ishal, karın ağrısı, kas ağrısı, yorgunluk, baş ağrısı, koku veya tat duyularında bozukluk, konjunktivit ve konfüzyon gibi semptomlar görülmektedir (5). Aynı zamanda hastalığın bir sonucu olarak bu bireylerde uyku bozuklukları (%63,6), aktivite enduransında azalma (%61,4), solunum disfonksiyonu (%57,9), iştahsızlık (%55,4), ağrı bozuklukları (%47,5), anksiyete (%62,1), korku (%50), apati (%41,8), depresyon (%40,7) ve çaresizlik (%32,5) gibi psikolojik işlev bozuklukları da görülür. Aktivite enduransında azalma COVID-19'un kardiyopulmoner fonksiyonları olumsuz yönde etkilemesiyle ortaya çıkar. COVID-19 enfeksiyonunun akciğerleri etkilemesi ve COVID-19 geçiren bireylerin uzun süre yatakta kalmaları sonucunda bireylerde diyafram yorgunluğu, solunum kas zayıflığı ve solunum disfonksiyonu oluşabilmektedir. Hastalığın seyrinin bilinmemesi de bu bireylerin gelecekleri hakkında endişelenmelerine, anksiyeteye ve korku hissetmelerine de neden olmaktadır (6).

COVID-19 enfeksiyonu insanları hafif, orta ve şiddetli düzeyde etkileyebilmektedir. Hafif düzeyde etkilenen bireylerde; yüksek ateş, kas ve eklem ağrıları, öksürük, boğaz ağrısı ve nazal konjesyon bulguları mevcuttur ve havayolu sekresyonları oldukça azdır. Bu bireylerin tedavisi, evde izolasyon şeklinde olup semptomatiktir. Antiviral ilaçlar, proteaz inhibitörleri ve çeşitli ilaçların birlikte uygulanmasıyla hastaların klinik semptomları azaltılmaktadır. COVID-19 enfeksiyonu sebebiyle hastaneye yatışın en önemli nedeni ise viral pnömonidir. Hastaneye yatan bu bireylerin yarısında oksijen tedavisi gerekebilmektedir. Bazı hipoksemik hastalarda yüksek akımlı nazal oksijen tedavisi, sürekli pozitif basınç tedavisi ve invaziv olmayan mekanik ventilasyon desteği de gerekebilmektedir. Hastalığın daha şiddetli olduğu hipoksemi, hiperkapni, asidemi ve/veya solunum kaslarında yorgunluk gelişen, hemodinamik olarak stabil olmayan ve mental durumu bozulan hastalar ise invaziv mekanik ventilasyon desteğine ihtiyaç duymaktadırlar (7, 8).

2. YÖNTEM

Bu derleme çalışmasında, COVID-19 geçirmiş bireylerde egzersiz eğitimleri hakkında bilgi vermeyi amaçladık. Pandeminin etkilerinin en yoğun yaşandığı süreçte uygulanan egzersizleri Mart 2020 ile Mart 2021 tarihleri arasında “egzersiz, fiziksel aktivite, SARS-CoV-2, COVID-19” anahtar kelimeleri kullanılarak “Google Akademik, PubMed ve Scopus” üzerinden elektronik veri tabanları tarandı. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

3. SONUÇLAR

Literatürde COVID-19’lu bireylerde rehabilitasyon uygulamaları ve egzersize yönelik öneriler hastalığın şiddetine ve altta yatan hastalıklara göre değişiklik göstermektedir. Akut dönemdeki hafif COVID-19’lu bireyler için hafif şiddette aerobik ve solunum egzersizleri önerilmektedir. Hastanede yatarak tedavi gören şiddetli COVID-19 sebebiyle durumu kritik olan hastalardaysa akut dönemde rehabilitasyon uygulamaları içerisinde yer alan solunum kas eğitimi, öksürük fasilasyonu, havayollarının temizliği ve aerobik egzersiz eğitiminin etkinliği konusunda fikir birliğine henüz varılamamıştır (9). Ancak COVID-19’a bağlı viral pnömoni sebebiyle hastaneye yatan bu hastaların mümkün olduğunca hareketli olması gerektiği vurgulanmaktadır. Bunu sağlayabilmek için de hastalara özellikle yatak içi egzersizler, yataktan kalkma, oturma dengesi, ayakta durma ve yürümeyi içeren mobilizasyon uygulamaları ile üst ve alt ekstremitayı içine alan çeşitli egzersizlerin yapılması önerilmektedir (7). Hastaneden taburculuğu takip eden süreçte bu bireylerde uyku bozukluğu, egzersiz kapasitesinde azalma, dispne, kaygı, korku ve motivasyonda azalma şeklinde fiziksel ve psikolojik bozukluklar görüldüğü bildirilmiştir. Bu sebeple, hastaneden taburcu olan bu bireylere de rehabilitasyon uygulamaları önerilmektedir (9). Literatürde egzersiz eğitim protokolüne yönelik bir fikir birliğine varılamamakla birlikte; daha önceki SARS-CoV enfeksiyonunu takip eden süreçteki rehabilitasyon çalışmaları ve toplum genelinde sağlıklı yaşama yönelik egzersiz önerileri sunan rehberler göz önünde bulundurularak COVID-19’lu bireylerin maksimal oksijen tüketiminin %55-80 veya maksimal kalp atım hızının %60-80 aralığında, ortalama 20-60 dakika/seans ve 2-3 seans/hafta, bisiklete binme veya yürüme şeklinde bir aerobik egzersiz programını takip etmeleri önerilmektedir (10). Fiziksel aktivite düzeylerini artırmak için akut dönemden itibaren hafif ve orta etkilenimi olan COVID-19’lu bireylere hafif şiddette, gün içerisinde 10-15 dakikalık 2-3 seanstan oluşan yürüyüş, yatak içi egzersizler ve solunum egzersizlerini içeren protokoller önerilmektedir (11). Rehabilitasyon uygulamalarının ve egzersizlerin sağlık çalışanlarının etkili ve virüsten güvenli bir şekilde korunarak çalışabilmesi için broşürler ve uzaktan çevrimiçi uygulamalara dayanan tele-rehabilitasyon uygulamaları (eğitim videoları, görüntülü görüşme, telefonla görüşme) ile yapılabileceği belirtilmektedir (7).

Tele-rehabilitasyon uygulamaları COVID-19 pandemisi nedeniyle yüz yüze rehabilitasyon programlarına katılmasının mümkün olmadığı hastalarda egzersizlerin ev ortamında yapılması şeklinde gerçekleşir. Yüz yüze uygulamalara göre hasta temasının daha az olması veya olmaması dışında içerik olarak benzerdir. Hastaların egzersiz programları evde uygulayabilecekleri programlara dönüştürülerek gerçek zamanlı video-konferans yöntemiyle gözetimli veya gözetimsiz olarak uygulanır. Egzersiz programları hastaların bu egzersizleri evde kendi imkanlarıyla yapacağı göz önünde bulundurularak en az ekipman kullanımıyla planlanmalıdır. Gerçek zamanlı video-konferans teknolojisi ile yapılan uygulamalar bireysel

veya 4-6 kişilik gruplar halinde uygulanabilmektedir (12-14). COVID-19 pandemisi süresince fiziksel inaktiviteye yönelik evde uygulanan kanıta dayalı egzersiz önerilerinin derlendiği bir yayında hastalık riskini ve mortaliteyi azaltmak için evdeki bireylere her 20-30 dakikada bir 2-3 dakikalık kısa yürüyüşlerle oturma sürelerini bölmeleri ve mümkün olduğunca günlük rutinlerine kısa yürüyüşler eklemeleri önerilmektedir (15). Ancak sağlık kazanımlarının en üst seviyede olması için kardiyorespiratuar ve kas iskelet sistemlerinde gelişmeyi hedefleyen yapılandırılmış egzersiz uygulamaları da tavsiye edilmektedir. Evde kısıtlı alanda yapılabilecek egzersizler olarak kişilerin kendi vücut ağırlıklarıyla yapabilecekleri egzersizler ile birlikte uygulanan interval egzersiz eğitimi uygun görülmektedir (16).

Liu ve arkadaşları COVID-19 geçiren yaşlı hastalara solunum rehabilitasyonu kapsamında 2 seans/hafta şeklinde toplam 6 hafta boyunca solunum kas eğitimi, öksürme egzersizleri, diyafragmatik eğitim, germe egzersizleri ve ev egzersiz programları uygulamışlardır. Sonuçta, solunum rehabilitasyonu uygulanan COVID-19 geçiren yaşlı hastalarda solunum fonksiyonu, yaşam kalitesi ve anksiyete iyileşmiştir; fakat depresyon ve günlük yaşam aktivitelerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik gözlemlenmemiştir (17).

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Mart 2020 ile Mart 2021 tarihleri arasında pandeminin ilk dekadında literatürde yayınlanan çalışmalar COVID-19'lu bireylere yönelik rehabilitasyon uygulamaları ve egzersizlerin gerekliliği konusunda hemfikirdir. Ancak bu konudaki çalışmalar çoğunlukla derleme düzeyinde kalmıştır. Bunun haklı sebepleri olarak en başta COVID-19'un hızlı yayılma ve ciddi düzeyde mortalite ve morbidite oranları gösterilmektedir. Hızlı bir şekilde gelişen bu süreçte yaşam da çok hızlı değiştiğinden henüz oldukça kısıtlı sayıda bu hastalara yönelik yapılan ileriye dönük çalışmalar mevcuttur. Bu sebeple, ileri derleme çalışmalarında COVID-19 pandemisinin etkisinin azaldığı süreçteki çalışmaların sonuçlarının verilmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Cascella M, Rajnik M, Cuomo A, Dulebohn SC, Di Napoli R. Features, Evaluation, and Treatment of Coronavirus. StatPearls. Treasure Island (FL)2020.
2. Clark A, Jit M, Warren-Gash C, Guthrie B, Wang H, Mercer S, et al. Global, regional, and national estimates of the population at increased risk of severe COVID-19 due to underlying health conditions in 2020: a modelling study. The Lancet Global Health. 2020;8.
3. Weekly epidemiological update - 9 February 2021: World Health Organization; 2021 [Available from: <https://www.who.int/publications/m/item/weekly-epidemiological-update---9-february-2021>].
4. Jain U. Effect of COVID-19 on the Organs. Cureus. 2020;12(8):e9540-e.
5. Gonzalez-Gerez JJ, Bernal-Utrera C, Anarte-Lazo E, Garcia-Vidal JA, Botella-Rico JM, Rodriguez-Blanco C. Therapeutic pulmonary telerehabilitation protocol for patients affected by COVID-19, confined to their homes: study protocol for a randomized controlled trial. Trials. 2020;21(1):588.

6. Li Z, Zheng C, Duan C, Zhang Y, Li Q, Dou Z, et al. Rehabilitation needs of the first cohort of post-acute COVID-19 patients in Hubei, China. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2020;56(3):339-44.
7. İnal İnce D VYN, Sağlam M , Çalık Kütükcü E . COVID-19 enfeksiyonunda akut ve post-akut fizyoterapi ve rehabilitasyon. *Turk J Physiother Rehabil.* 2020;31(1):81-93.
8. Qiu G, Ji Y, Tan Y, He B, Tan C, Wang Z, et al. The effects of exercise therapy on the prognosis of patients with COVID-19: A protocol for systematic review. *Medicine (Baltimore).* 2020;99(51):e23762-e.
9. Li J. Rehabilitation management of patients with COVID-19: lessons learned from the first experience in China. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2020;56(3):335-8.
10. Alawna M, Amro M, Mohamed AA. Aerobic exercises recommendations and specifications for patients with COVID-19: a systematic review. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2020;24(24):13049-55.
11. Wang TJ, Chau B, Lui M, Lam GT, Lin N, Humbert S. Physical Medicine and Rehabilitation and Pulmonary Rehabilitation for COVID-19. *Am J Phys Med Rehabil.* 2020;99(9):769-74.
12. Pleguezuelos E, Del Carmen A, Moreno E, Ortega P, Vila X, Ovejero L, et al. The Experience of COPD Patients in Lockdown Due to the COVID-19 Pandemic. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2020;15:2621-7.
13. Philip KE, Lewis A, Jeffery E, Buttery S, Cave P, Cristiano D, et al. Moving singing for lung health online in response to COVID-19: experience from a randomised controlled trial. *BMJ Open Respir Res.* 2020;7(1).
14. Alison J, McNamara R, Spencer L, Wootton S, McKeough Z, Dale M, Tsai LL, Kulas H. Delivering pulmonary rehabilitation via telehealth during COVID-19. 2020. Agency for Clinical Innovation Respiratory Network PuRe Expert Reference Group.
15. Schwendinger F, Pocecco E. Counteracting Physical Inactivity during the COVID-19 Pandemic: Evidence-Based Recommendations for Home-Based Exercise. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(11):3909.
16. Garvey C HA, Corn J. . Pulmonary rehabilitation resources in a complex and rapidly changing world. .
17. Liu K, Zhang W, Yang Y, Zhang J, Li Y, Chen Y. Respiratory rehabilitation in elderly patients with COVID-19: A randomized controlled study. *Complement Ther Clin Pract.* 2020;39:101166.

OKÇULARDA FİZİKSEL PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Prof.Dr.Özlem ÇİNAR ÖZDEMİR

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Bolu, Türkiye, ozlemcinarozdemir@gmail.com - ORC-ID: 0000-0002-9205-5652

Doç.Dr.Gülşah BARĞI

İzmir Demokrasi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, İzmir, Türkiye, gulsah.bargi@idu.edu.tr, ORC-ID: 0000-0002-5243-3997

ÖZET

Spor, insanların mental sağlıklarını olumlu bir şekilde etkilemeyi ve fiziksel faydaların yanı sıra sosyal kazanımlar sağlamayı amaçlayan bir hareketler grubudur Okçuluk, dünya çapında hem rekreasyonel bir etkinlik hem de rekabetçi bir spor olarak uygulanmaktadır. Olimpiyat Oyunları'nda yer almakta olup, düzenli olarak pek çok ulusal ve uluslararası şampiyona yapılmakta ve bu da sporun küresel popülaritesine katkı sağlamaktadır. Okçuluk, odaklanma, konsantrasyon ve iyi teknik beceriler gerektiren, okları yaydan hedefe doğru fırlatarak atış yapmayı içeren statik bir spordur (Lee, 2009). Ayrıca üst vücut gücü ve dayanıklılık, özellikle omuz kuşağı gücü gerektirmektedir. Okçuluk becerileri, okçunun hedeflere belirli bir hassasiyetle ok atabilme yeteneği olarak nitelendirilir. Bu spor dalı, belirli kaslarda çok zorlu bir etkinlik olup, tüm çevresel koşullarda, içerde veya dışarıda iyi performans sergileyebilme yeteneğini gerektirir. Yani okçuluk, fiziksel ve zihinsel yeteneklerin bir arada kullanıldığı bir spor dalıdır. Başarılı bir okçuluk performansı, sadece teknik bilgi ve becerilere değil, aynı zamanda belirli fiziksel parametrelerin etkin bir şekilde kullanılmasına da dayanır. Okçuların performansını etkileyen başlıca fiziksel parametreler; kuvvet, dayanıklılık, esneklik, denge ve koordinasyon gibi unsurlardır. Bu parametrelerin incelenmesi, okçuların daha verimli bir şekilde antrenman yapmalarını ve yaralanmalarını önlemelerini sağlamak amacıyla önemlidir. Birçok çalışma, okçunun atış hareketini inceleyerek, sporcunun performansını etkileyebilecek ve sakatlanma riskini önleyebilecek faktörleri daha iyi anlamaya çalışmıştır. Özellikle mevcut literatür, sporcunun biyomekanik ve psikofizyolojik alanlarına ilişkin çeşitli konuları izleyip analiz etmiştir. Bu incelemenin amacı, okçunun hareketine ilişkin anahtar performans göstergeleriyle ilgili en önemli bulguları özetleyerek, okçuluk performansının objektif bir değerlendirmesine giden yolu açmaktır. Mevcut literatürün incelenmesi, okçuluk disipliniinde performans optimizasyonu, sporcuların performansını artırmak ve yaralanmaları önlemek için daha iyi antrenman programları tasarlamalarında ve sakatlanma öncesi gelecekteki araştırmalara yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Okçuluk, postür, denge, kuvvet, dayanıklılık

OKÇULARDA FİZİKSEL PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

1.GİRİŞ

Spor, insanların yaşam kalitesini artırma açısından ülkelerde önemli bir rol oynamaktadır. Sağlık teşviki, iyi performans sergileme ve sporculuk değerlerinin geliştirilmesi, ulusun birleşmesi, gurur ve ilham kaynağı, gelir yaratma, kariyer oluşturma ve ülke ekonomisini geliştirme gibi birçok alanda katkı sağlar. Egzersiz yapmak, spor oynamak ve sağlığı ve zindeliği artırmaya yönelik rekreasyonel etkinliklere katılmak, toplumun her seviyesindeki insanlar arasında iyi bir etkileşim oluştururken, birçok ülkenin insan güvenliği ve sosyal güvenlik sorunlarını etkili ve verimli bir şekilde çözmek için kullanabileceği önemli bir araçtır. Spor yapmanın, dünya çapında insanların sosyal yaşam deneyimlerini geliştirmek ve birlikte mutlu bir şekilde yaşamalarını sağlamak için en etkili yollarından biri olduğu giderek daha geniş bir kabul görmektedir (1).

Spor, başarıyı artırmaya ve bireyin rekabet, heyecan ve üstünlük açısından başarısını maksimize etmeye yönelik yoğun çabalar olarak tanımlanır (2). Okçuluk, çok popüler olmayan bir spordur. Çünkü ekipmanları nispeten yüksek fiyatlıdır ve eğitim ya da öğretim yerleri diğer sporlara göre daha yaygın değildir. Hem erkek hem de kadın sporcular bu sporu yapmaktadır. (3) Okçuluk, gerektiğinde sınıflandırma kuralları altında izin verilen yardımcı cihazlarla atış yapabilen fiziksel engelli atletlere de açıktır (4). Paralimpik sporlar, engelli bireylerin uygun rekabet düzeylerinde yarışmalarına olanak sağlar (5).

2. YÖNTEM

Bu derleme çalışmasında, okçuların fiziksel parametreleri hakkında bilgi vermeyi amaçladık. Bunun için “Google Akademik, PubMed ve Scopus” üzerinden elektronik veri tabanları tarandı. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

3.OKÇULARDA FİZİKSEL PARAMETRELER

Okçuluk, güç veya hız odaklı bir spor değildir. Aksine, büyük bir hassasiyetle yapılan pratik ve beceri gerektiren bir sanattır. Okçuluk, mutlak dayanıklılık, güç, esneklik, ince el koordinasyonu ve zamanlama gerektiren, istikrarlı bir spordur ve mevcut ekipman oldukça önemlidir. Bu nedenle, hem yarışma hem de antrenman için aerobik kapasite, anaerobik kapasite ve postüral kaslarda belirli bir performans gereklidir (6). Yüksek puanlar elde etmek için postüral kontrol gerektiren bir sporun iyi bir örneğidir. Ayrıca hareket kontrolü, uygun güç, üst vücut kuvveti ve denge yeteneği gerektiren statik bir spor olarak tanımlanır (7).

Okçulukta amaç; yay, hedef, ok ve atış için gerekli ekipmanlar kullanarak isabetli bir atış gerçekleştirmek ve en yüksek puanı elde etmektir. Okçulukta beceri, oku belirli bir mesafe ve belirli bir hedefe doğru bir şekilde atmaktır (8). Bireysel bir spor olan okçulukta açık hava atışlarında bayanlar 70–60–50–30 m. atarken, erkekler 90–70–50–30 m. mesafeden atış yapmaktadırlar. Salon yarışmalarında ise atışlar, 18 ve 22 metrelik mesafeden gerçekleştirilmektedir. Okçular hedefe attıkları okların isabet ettiği renk ve içinde buldukları

daire ölçüsünde puan toplarlar (9). İsabetli bir atış yapabilmek için maksimum düzeyde vücut kontrolü, beceri ve odaklanmanın yanı sıra atış tekniğini oluşturan tüm hareketlerin senkronize şekilde tekrarlama yeteneği gerekmektedir (10,11). Okçuluk sporu, aralıklı olarak yapılan aerobik ve anaerobik aktiviteleri içermektedir. Okçular antrenmanlarda ve yarışmalarda skorlarını kontrol etmek ve oklarını almak için 70 metrelik mesafeyi 12 kez gidip gelmektedir. Bu nedenle yay girişini çekmenin tekrarlayan hareketini gerçekleştirmek için üst ekstremite kaslarının kuvvetinin yanısıra yeterli bir aerobik kapasiteye de sahip olmaları gerekmektedir (12). Özellikle kolların ve bileklerinde güçlü ve dengeli olması önemlidir. Okçunun okunu tam istediği şekilde hedefe isabet ettirebilmesi için iyi bir konsantrasyon gereklidir (3).

Okçuluk becerileri, yay ve ok arasındaki etkileşimin doğrudan hedefe yönlendirilmesiyle gerçekleşir. Yaylar ve oklar bir bağa sahiptir ve modern teknoloji ile mükemmelleştirilmiş, bu da karmaşık bir Kendi Video sistemini (Self Video) ortaya çıkarmıştır Uygulama açısından, ok, yay teline yerleştirilir, sonra yay çekilir ve yerinde tutulur. Yay teli, okçunun yüzündeki tutma noktasına kadar çekilir. Nişan alındıktan sonra ok serbest bırakılır. El, yayı serbest bıraktıktan sonra pozisyonunu korur. Her okçuluk pratiği genellikle 3 ila 6 ok atmayı içerir. Skor sonucu, her hedefteki en yüksek puan ile en düşük puan arasındaki farkı içerir (13). Kısaca Okçuluk atış tekniği, yayı çekme, nişan alma ve yayını serbest bırakma olarak tanımlanabilir (14).

Antrenmana aerobik bir bileşen eklemek de gereklidir. Kardiyovasküler ve solunum sistemi fitness'ı gibi aerobik fitness, dışarıdan fark edilemeyecek kadar az bir etki yapabilir, ancak okçunun uzun süreli odaklanmayı ve yapıyı sürdürme yeteneği üzerinde çok önemli bir etkisi vardır. Kardiyovasküler fitness, koşu, yüzme veya kalp atış hızını uzun süreler boyunca artıran herhangi bir egzersiz programı gibi bir dizi sürekli egzersizi içerebilir. Etkinliğin analizi, etkin bir eğitim kapasitesi için uzun saatler ve yüksek kaliteli atışların yapıldığı, günde en az 150 atışın yapıldığı yarışmalar sırasında kardiyovasküler fitness ihtiyacını göstermiştir (15). Okçularla yapılan çeşitli araştırmalar, tekrarlayan atışlar sırasında okçuların kardiyovasküler sistemi üzerinde belirgin bir stres olduğunu göstermiştir (16).

Okçuluk fitness programının temel hedefi, okçuluk becerilerini geliştirebilmek, rekabet gücünü artırmak ve başarı sağlamak için gerekli olan kas yapısı ve kardiyorespiratuar sistemleri güçlendirmektir (17). Aerobik egzersizler, kalbin dinlenme halindeki kan pompalama kapasitesini artırarak, yüksek düzeyde kondisyon kazanmış dayanıklılık sporcularında gözlemlenen bradikardiye (yavaş kalp atışı) katkıda bulunur. Bu sporcularda kalp atış hızının genellikle dakikada 40 ile 60 arasında olduğu rapor edilmiştir (18).

Daha önce belirtildiği gibi, okçuluk bir hassasiyet sporudur; bu nedenle, nefes alma ve kalp hızı kontrolü, atış sırasında vücudun stabil kalmasına yardımcı olmak için çok önemlidir (19). Birçok çalışma, özellikle bir performans sırasında okçunun kalp hızını izleyerek bu konuya odaklanmıştır, ancak güçlü kanıtlar hala eksiktir. Bir çalışmada, elit okçular arasında atış skoru ile kalp hızı arasındaki korelasyon incelenmiş, ancak iki değişken arasında anlamlı bir ilişki bulamamıştır (20). Öte yandan, Clemente ve ark. (21), uzman ve yeni başlayan okçular arasında bir analiz yaparak, deneyimli okçuların daha düşük kalp hızı ve daha iyi performans gösterdiğini rapor etmiştir. Benzer bir çalışma, Bir başka çalışmada. (22) kalp hızı değişkenliği

(HRV) ile otonom sinir sistemi modülasyonu üzerine odaklanmıştır. Çalışma, deneyimli okçuların, acemi okçulara kıyasla daha fazla parasempatik sinir sistemi aktivitesi gösterdiğini bulmuştur. Benzer şekilde, yeni başlayan okçular üzerinde yapılan bir çalışmada, HRV analizi parasempatik aktivite artışının sadece daha iyi performans gösteren okçularda belirgin olduğunu ortaya koymuştur (23). Atış doğruluğu üzerindeki kardiyopulmoner parametrelerin rolüne yönelik daha genel analizler, iyi bir akciğer kapasitesine, uygun bir solunum frekansına ve optimal dinlenme kan basıncına sahip olan sporcuların en yüksek puanları aldığını ortaya koymuştur (24).

Solunum; diyaframı, göğüs kafesini, karın boşluğunu ve omuzları etkileyen bir eylemdir. Etkili bir atış tekniği için sporcunun aynı anda hem nefes alıp hem de ok atması gerekir. Solunum, okçulukta tüm çekiş süreci boyunca atışın kalitesini etkileyen önemli bir eylemdir. Yanlış uygulanan bir nefes tekniği, tekrar nefes alma ihtiyacına neden olacak, bu da daha az kontrole ve konsantrasyon kaybına neden olarak performansın düşmesine yol açacaktır. Etkili nefes alabilmek için sağlıklı bir solunum sistemine sahip olmak önemlidir (25). Sporda solunum kas kuvvetinin artması sportif performansın gelişmesiyle sonuçlanmaktadır. Solunum fonksiyonlarının ve solunum kas kuvvetinin düzenli olarak değerlendirilmesi sporcularda performansın sürdürülmesinde faydalıdır (26). Bostancı ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada ergenlik çağındaki okçularda (9-12 yaş arası) solunum fonksiyon ve solunum kas kuvveti değerleri ve atış performansı arasında pozitif doğrusal bir ilişki olduğu gösterilmiştir (27).

İnsanlarda denge karmaşıktır ve özellikle fiziksel aktivite sırasında dik duruşun biyomekaniğine bağlıdır. Suboksipital, suboksipital miyofasya dahil olmak üzere, başın açılma duruşundaki değişiklikleri hassas bir şekilde algılamaya imkan tanıyan mekanoreseptörler ve proprioseptörlerin yüksek yoğunluğu nedeniyle denge kontrolünde önemli bir rol oynar. Servikal hizalanmadaki dengesizlikler, özellikle suboksipital (C0-C2) hiperektansiyon, boyun ağrısına ve diğer postüral sonuçlara yol açabilir (28). C0-C2 ile ilişkili asemptomatik subklinik servikal sagittal dengesizlik, göz ardı edilen anormallikler, vücudun propriosepsiyonunu ve dengesini azaltabilir, dolayısıyla spor performansını etkileyebilir. Baş hareketleri, beyin-omurilik sıvısı basıncını etkilemede önemlidir ve myodural köprü ile suboksipital kaslar bu süreçte önemli bir rol oynar (29).

Vücut dengesi, fiziksel aktivitenin sağlıkla ilgili önemli bir bileşeni olup, sporlardaki antrenman ve yarışma sonuçlarını etkileyebilir. Postüral kontrol ve denge üzerindeki herhangi bir potansiyel fizyolojik iyileşme, performans ve spor sonuçlarında iyileşmeye dönüşebilir. Okçuluğun ana özelliği, okçunun mümkün olan en statik duruşu benimsemesidir. Prensibi, hareketlerin tekrarını ve stabilitesini sağlayarak tutarlı bir atış yapmaktır. Bu, vücut hareketsiz olduğunda (statik denge durumu) çok önemlidir. Okçuluk verimliliği, hedefe ok yerleştirerek ölçülür. Sporcuların performansını artırmaya yönelik araştırmalar, denge gibi faktörleri de incelemektedir; denge, optimal performansı bozabilecek kuvvetlere karşı koordinasyon ve kontrol sağlamaktır. Sporcular, destek alanlarının boyutunu artırarak stabiliteyi artırır (30). Hedefleme sporlarında, postüral stabilite, en yüksek performansı elde etmek için kontrol edilmesi gereken önemli bir unsur olarak kabul edilmektedir (31). Vücudun stabilitesi, ağırlık

merkezinin destek alanına projeksiyonuna sıkı bir şekilde bağlıdır. Düşük bir ağırlık merkezi, daha stabil bir vücuda yol açar. Okçular, statik koşullar altında olağanüstü denge ve postüral kontrol gerektirir. Dengeyi korumak için, vücudun ağırlık merkezi ile destek alanı arasındaki çizgi sabit tutulmalı ve postüral osilasyon en aza indirilmelidir. Dengeyi korumak için birden çok sistem ve girdiler koordineli bir şekilde çalışır; bunlar görsel, vestibüler ve somatosensör sistemleri içerir. Proprioseptif sistem, vücut pozisyonu ve hareketi hakkında bilgi sağlayan temel bir sistemdir. Okçular için destek alanı, ayak parmaklarının ve topuklarının uçlarını kapsayan kare bir çokgen yüzeydir. Okçular, yaylarını önlerinde düşük tutarak başlar ve sonra uzatılmış bir kolla yukarı kaldırır. Bu hareket, ağırlık merkezini yükseltir ve onu hedefe en yakın ayağa kaydırır, bu da daha dengesiz bir dengeye yol açar. Boyun eklem reseptörleri, okçunun vücuduna göre başın doğru yönelimini korumasını sağlamak için sinir sistemine kritik proprioseptif bilgi sağlar (30).

Birçok çalışma, okçunun ok yayını sonrası ve öncesindeki dengesini araştırmıştır. Özellikle, vücut salınımı, yapılan 10 çalışmanın 9'unda iyi bir performans göstergesi olarak kabul edilmiştir. Farklı beceri seviyelerine sahip gruplar arasında yapılan analizler, uzman bir okçunun, acemi bir okçuya kıyasla daha stabil olduğunu ortaya koymuştur (32,33). Ayrıca, elit okçular arasında, vücut salınımının en aza indirildiği durumlarda atış puanının daha yüksek olduğu kanıtlanmıştır (34,35).

Okçuluk, özellikle üst vücut kaslarında iyi bir fiziksel kondisyon, güç ve dayanıklılık gerektiren istatistiksel bir spordur. Okçuluk teknikleri uygulanırken, özellikle yay telini çekerken, kaslar izotonik kasılmalar yaşayacaktır, özellikle ilk çekişte. Kolun tam çekilmesi sırasında, parmaklar çene ile temas etmeli ve parmaklar çenenin altına yapışmalıdır (ankraj), ayrıca yayı tutan kol tamamen kilitlenmeli ve çekiş kolu da kilitlenmelidir, böylece izometrik bir kasılma meydana gelir. Bir sporcunun fiziksel durumu, okçuluk performansını büyük ölçüde etkileyen önemli bir göstergedir, kol kaslarının dayanıklılığıdır (26,36,37,38).

Kas dayanıklılığı, belirli kasların veya kas gruplarının uzun süre boyunca submaksimal seviyelerde tekrarlayan şekilde güç üretme veya bu gücü sürdürme yeteneği olarak tanımlanabilir (39). Okçularda kol kası dayanıklılığının kullanımı, yay çekme, nişan alma (tutma) ve okları bırakma sırasında gerçekleşir. İyi kas gücü ve kas dayanıklılığına sahip sporcular, okçuların zirve performans sergilemesi için büyük bir avantaj sağlar (40). Ayrıca, okçuluk, ana kas gruplarını harekete geçiren üst vücut ve kor kas gücü gerektirir (41). Okçuluk sırasında, bir kol yay tutmak (itmek) için stabil bir pozisyonda kullanılırken, diğer kol yay telini çeker ve ok serbest bırakılana kadar ok hedef hizalamasını tutmaya yönelik kas titremeleri artar (42). Bu nedenle, vücut koordinasyonu, bu tür bir sporda performansı artıran önemli bir unsurdur (43). Bir kişinin iyi ya da kötü koordinasyon seviyesi, hareketi düzgün, hassas, hızlı ve verimli bir şekilde yapma yeteneğiyle yansıtılır (44). Okçulukta atış yapmak sadece fiziksel eğitim değil, aynı zamanda yüksek zihinsel konsantrasyon, odaklanma ve koordinasyon gerektirir (45).

4.GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Okçuluk, tarihsel olarak eski bir savaş ve avcılık aracı olarak kullanılmış, günümüzde ise bir spor dalı olarak yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Bu spor dalı, bireylerin hedefe doğru ok atma becerilerini geliştirirken, aynı zamanda fiziksel parametrelerin de önemli bir rol oynadığı bir aktivitedir. Okçuluğun başarıyla icra edilebilmesi için vücut kontrolü, kuvvet, esneklik, denge, hız, dayanıklılık ve koordinasyon gibi fiziksel parametreler büyük bir öneme sahiptir. Bu unsurlar, okçunun atış yaparken doğru duruşu koruması, okunu doğru şekilde çekmesi ve hedefi doğru şekilde vurabilmesi için gereklidir.

Fiziksel parametreler, okçuluğun sadece teknik yönlerini değil, aynı zamanda sporcu sağlığını ve performansını da doğrudan etkiler. Örneğin, okçunun kas yapısı, omuz, kollar ve bel bölgesindeki dayanıklılık ve güç, ok atışını yaparken sağlanan stabiliteyi ve doğruluğu etkilerken, esneklik de okçunun hareket kabiliyetini ve atış sırasında gerekli olan açığı alabilmesini sağlar. Aynı şekilde, zihinsel odaklanma ve görsel algılama yeteneği gibi psikolojik faktörler de fiziksel parametrelerle birleşerek başarılı bir atışın gerçekleştirilmesinde etki sağlar. Bu bağlamda, okçulukta fiziksel parametrelerin anlaşılması ve geliştirilmesi, sporcuların hem antrenman hem de yarışma dönemlerinde yüksek performans göstermelerine yardımcı olur. Fiziksel uygunluk ve teknik becerilerin entegrasyonu, okçulukta başarı için temel faktörlerden biridir.

KAYNAKÇA

1. Sports Authority of Thailand. (2017). National Sports Authority of Thailand Strategic Plan, 6th Edition (2017 - 2021).Bangkok: SVG Trade Organization Printing
2. Mujika, I., Halson, S., Burke, LM., Balagué, G., Farrow, D. (2018). An integrated, multifactorial approach to periodization for optimal performance in individual and team sports, *Int J Sports Physiol Perform*, 13(5):538–561[https:// doi. org/ 10. 1123/ ijsspp. 2018- 0093](https://doi.org/10.1123/ijsspp.2018-0093).
3. Rodma, G., Khaowanna, Y., Hemara, C. (2022). Administration and management strategies of archery athletes for excellence, *Journal of Positive Psychology and Wellbeing*, 6:2.
4. Bellar, D., Hatchett, A., Judge, LW., Breaux, ME., Marcu,s L. (2015). The relationship of aerobic capacity, anaerobic peak powerand experience to performance in CrossFit exercise, *Biol Sport*, 32(4):315–320. [https:// doi. org/ 10. 5604/ 20831 862. 11747 71](https://doi.org/10.5604/20831862.1174771).
5. Blauwet, C., Willick, SE. (2012). The paralympic movement: usingsports to promote health, disability rights, and social integrationfor athletes with disabilities, *PM&R*, 4(11):851–856.
6. “Understanding motor development: infants, children, adolescents adults.” [https:// www. jblea rning. com/ catal og/ produ ctde ails/ 97812 84174 946](https://www.jblearning.com/catalog/products/9781284174946). Accessed 30 Oct 2020.
7. The comparison of balance abilities of recurve, compoundand traditional archery: a preliminary study.” [Online]. [https://www. resea rchga te. net/ publi cation/ 29374 3391_ The_ Compari son_ Of_ Balan Ce_ Abılı Ties_ Of_ Recur Ve_ Compound_ And_ Tradi Tional_ A Rche Ry_ A_ Prelım Inary_ Study](https://www.researchgate.net/publication/293743391_The_Comparison_Of_Balan_Ce_Abılı_Ties_Of_Recur_Ve_Compound_And_Tradi_Tional_A_Rche_Ry_A_Prelım_Inary_Study). Accessed 30 Oct 2020.
8. Leroyer, P., Van Hoecke, J. ve Helal, J. 1993. Biomechanical study of the final push-pull in archery, *Journal of Sports Sciences*, 11(1), 63-69.
9. Kolayış, İ E. (2000). Okçuluk milli takımının antreman ortamında kalp atım hızı ve nişan alma süresinin atış puanı üzerindeki etkileri Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya, 2000.
10. Ertan H. Okçulukta Kassal Aktivasyon, Nisan Kitabevi, Ankara, 2013.
11. Konttinen, N., Landers, D. ve Lyytinen, H. (2000). Aiming routines and their electrocortical concomitants among competitive rifle shooters, *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 10(3), 169-177.
12. Antonov, S., Briskin, Y., Perederiy, A., Pityn, M., Khimenes, K., Semeryak, Z., et al. (2017). Improving technical preparedness of archers using directional development of their coordination skills on stage using the specialized basic training, *Journal of Physical Education and Sport*,17(262-8).
13. Vendrame,E., Belluscio, V., Truppa, L., Rum, L., Lazich, A., Bergamini, E., Mannini A. Performance assessment in archery: a systematic review, *Sports Biomechanics*, <https://doi.org/10.1080/14763141.2022.2049357>
14. McKinney, W., & McKinney, M. *Archery*, (8th ed.), Madison WI: Brown & Benchmark. 1997.
15. Tinazci C. (2001). The Analysis of Shooting Dynamics in Archery, *The Sport Psychologist*, 16, 272-290

16. Carillo, A. E., I Sur. (2011). Autonomic nervous system modulation during an archery competition in novice and experienced adolescent archers, *J Sport Sci*, 29(9): 913-7.
17. Musta, AM. Precision Archery: Achieving a physical edge. Edited by Steve Ruis and Claudia Stevenson, *Human Kinetic*, 2004Pp. 63-86, ISBN0736046348.
18. Guyton, A C. (1991). *Textbook of Medical Physiology*, 8th ed. Philadelphia: Saunders.
19. Lo Presti, D., Romano, C., Massaroni, C., D'Abbraccio, J., Massari, L., Caponero, M. A., Oddo, C. M., Formica, D., & Schena, E. (2019). Cardio-respiratory monitoring in archery using a smart textilebased on flexible fiber Bragg grating sensors, *Sensors*, (Switzerland), 19(16), 3581. <https://doi.org/10.3390/s19163581> .
20. Açıkkada, C., Hazır, T., Aşçı, A., Aytar, S. H., & Tınazcı, C. (2019). Effect of heart rate onshooting performance in elite archers, *Heliyon*, 5(3), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01428>
21. Clemente, FM., Couceiro, MS., & Mendes, R. (2011). Study of the heart rate and accuracy performance of archers, *Journal of Physical Education and Sport*, 11(44), 434–437.
22. Carrillo, AE., Christodoulou, VX., Koutedakis, Y., Flouris, AD. (2011). Autonomic nervous system modulation during an archery competition in novice and experienced adolescent archers, *Journal of Sports Science*, 29(9), 913–917. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.568514>
23. Eswaramoorthi, V., Abdullah, MR., Musa, RM., Maliki, AB., Kosni, NA., Raj, NB., Alias, N., Azahari, H., Mat-Rashid, SM., Juahir, H. (2018). A multivariate analysis of cardiopulmonary parameters in archery performance, *Human Movement*, 19(4), 35–41. <https://doi.org/10.5114/hm.2018.77322>
24. Tok, S., Ni, D., Zekioglu, A., Çatıkkaş, F., Balıkçı, İ., & Doğan, E. (2020). Autonomic cardiac activity among novice archers during baseline, shooting, and recovery, *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(9), 2627–2635. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002640>
25. Lomax, ME., McConnell, AK. (2003). Inspiratory muscle fatigue in swimmers after a single 200 m swim, *J Sport Sci*, 21: 659–664.
26. Jurić, I., Labor, S., Plavec, D., Labor, M. (2019). Inspiratory muscle strength affects anaerobic endurance in professional athletes, *Arh Hig Rada Toksikol*, 70(1):42-8.
27. Bostanci, Ö., Kabadayi, M., Mayda, MH., Yilmaz, AK., Yilmaz, C. (2021). The relationship between shooting performance and respiratory muscle strength in archers aged 9-12, *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 13(3), 4.
28. Patwardhan, AG., Havey, RM., Khayatzadeh S, et al. Postural consequences of cervical sagittal imbalance: A novel laboratory model, *Spine (Phila Pa 1976)*, 2015;40(11):783-92
29. Ma, Y., Tang, W., Gong, DZ., et al. The morphology, biomechanics, and physiological function of the suboccipital myodural connections, *Sci Rep*, 2021;11(1):8064
30. Manent, L., Henrique da Fonseca, RA., Angulo, O. (2023). Enhancing Body Balance and Performance in Elite Archery Athletes: The Impact of Atlasprofilax Intervention on Suboccipital Myofascia *Am J Case Rep*; 24: e939824 DOI: 10.12659/AJCR.939824
31. Era, P., Konttinen, N., Mehto, P., Saarela, P., Lyytinen, H. (1996). Postural stability and skilled performance—A study on top-level and naive rifle shooters, *Journal of Biomechanics*, 29(3), 301–306. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(95\)00066-6](https://doi.org/10.1016/0021-9290(95)00066-6)

32. Simsek, D., Cerrah, AO., Ertan, H., Soylu, RA. (2018). Muscular coordination of movements associated with arrow release in archery. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 40(1), 141–155.
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2006.05.002>
33. Shinohara, H., & Urabe, Y. (2018). Analysis of muscular activity in archery: A comparison of skill level, *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(12), 1752–1758. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07826-4>
34. Tinazci, C. (2011). Shooting dynamics in archery: A multidimensional analysis from drawing to releasing in male archers, *Procedia Engineering*, 13, 290–296.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.05.087>.
35. Zawi, K., Mohamed, M. (2013). Postural sway distinguishes shooting accuracy among skilled recurve archers, *Online Journal of Recreation and Sport*, 2(4), 21–28.
36. Choi, S., Ok, G. (2016). The Role of Gukgung in the Success of South Korean Archery, *Int J Hist Sport*, 33(9):990–1007.
37. Park, JW., Tan TC., Park HU. (2016). Interrogating the key policy factor behind South Korea's archery success, *Int J Hist Sport*, 33(5):523–44.
38. Al-Jaber, KAH., Shandal, BAH. (2021). Strength Training of the Elastic Ropes Of the Archer's Arm and Its Relationship to Some Bio Cinematics Variables and Achievement of the Effectiveness of Discus Throwing for the Iraqi Champion for the Handicapped Category F551-Definition of Research, *Indian J Forensic Med Toxicol*, 15(3):5240–4.
39. Salonikidis, K., Papageorgiou, K., Meliadis, A., Arabatzi, F. (2021). Force steadiness during submaximal isometric plantar and dorsiflexion in resistance training: experienced vs non-experienced individuals, *Cent Eur J Sport Sci Med*, 34(02).
40. Putra, GN., Hidayatullah, MF., Purnama, SK. (2022). Relationship of Arm Muscle Strength, Arm Muscle Endurance, Abdominal Strength and Balance with Arrow Achievement, *Int J Multidiscip Res Anal*, 5(01).
41. Suppiah, PK., Musa, RM., Wong, T., Kiet, K., Abdullah, MR., Bisyri A., et al. (2017). Sensitivity prediction analysis of the contribution of physical fitness variables on Terengganu Malaysian youth archers' shooting scores, *Int J Pharm Sci Rev Res*, 43(1):133–9.
42. Savvides, AD., Giannaki, C., Vlahoyiannis AS., Stavrinou, P., Aphas, G. (2020). Effects of dehydration on archery performance, subjective feelings and heart rate during a competition simulation, *J Funct Morphol Kinesiol*, 5(3):67.
43. Ergen, E., Hazir, T., Celebi, M., Kin-Isler, A., Aritan, S., Yaylıoğlu, VD., et al. (2021). Effects of beta-blockers and tuning on archery performance, body sway and aiming behaviour, *BMJ open Sport Exerc Med*, 7(2):e001071.
44. Jeannerod, M. The contribution of open-loop and closed-loop control modes in prehension movements, In: *Preparatory States & Processes*. Psychology Press; p. 323–37, 2019.
45. Li, PXL., Chan, CSC., Lai, KKY., Wong, JPC., Tsang, WWN. (2019). Effects of a Single-Dose of Mind-Body Practice on the Heart Rate Variability, Brain Activity and Shooting Performance in Archers: A Pilot Study, *Yangtze Med*, 3(2):124–34.

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN GRIP STRENGTH AND COUGH STRENGTH IN ELDERLY PEOPLE LIVING IN A NURSING HOME: PILOT STUDY

Çağlayan Pınar ÖZTÜRK

Süleyman Demirel Üniversitesi/ISHMYO, Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü,
caglayanozturk@sdu.edu.tr- <https://orcid.org/0000-0002-7049-9746>

Neriman TEMEL AKSU

Akdeniz Üniversitesi/Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü,
nerimantemelaksu@akdeniz.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-7455-8697>

Zeliha BAŞKURT

Süleyman Demirel Üniversitesi/Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü,
zelihabaskurt@sdu.edu.tr- <https://orcid.org/0000-0001-7488-9242>

Ferdi BAŞKURT

Süleyman Demirel Üniversitesi/Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü,
ferdibaskurt@sdu.edu.tr- <https://orcid.org/0000-0002-8997-4172>

ÖZET

Bu çalışmanın amacı huzurevinde yaşayan yaşlılarda kavrama kuvveti ile öksürme kuvveti arasındaki ilişkinin incelenmesidir. Çalışmada 65 yaşının üzerinde, huzurevinde yaşayan, günlük yaşam aktivitelerinde bağımsız, bilişsel problemi olmayan, kronik ortopedik veya nörolojik hastalığı olmayan yaşlılar değerlendirilmiştir. Katılımcıların el kavrama kuvveti Jamar Hidrolik El Dinamometresi kullanılarak, Zirve Ekspiratuar Akım Hızı (PEFR) ve Tepe Öksürük Akımı (TÖA) PEFRmetre kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar SPSS 25 programı ve Pearson Korelasyon Analizi ile değerlendirilmiştir. Katılımcıların demografik verileri değerlendirildiğinde yaş ortalaması 74,15 ($\pm 8,70$), VKİ ortalaması 26.77 (± 5.10), sahip olduğu kronik hastalık ortalaması 2, kullandığı ilaç sayısı ortalaması 4 olarak tespit edilmiştir. Zirve Ekspiratuar Akım Hızı ile Öksürük Kuvveti istatistiksel olarak anlamlı düzeyde, pozitif yönde ve yüksek düzeyde ilişkilidir ($r:0.940$ $p=,000$). Kavrama kuvveti PEFR ile ($r:0.725$ $p=,000$) ve TÖA ile ($r:0.789$ $p=,000$) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde, pozitif yönde ve yüksek düzeyde ilişkili bulunmuştur. Bu çalışmada Kavrama Kuvveti ile PEFR ve TÖA çift yönlü ve pozitif bir ilişki olduğu görülmüştür. Gelecekteki çalışmalarda büyük bir örnekleme ilişki durumu ve nedensellik ilişkisi değerlendirilebilir. Bu çalışma kavrama kuvvetinin solunum fonksiyonları ile ilişkili olduğunu gösteren önceki çalışmaları desteklemektedir. Kullanılan cihazların kullanım basitliği toplumsal çalışmalardaki değerlendirmeler için umut vericidir.

Anahtar Kelimeler: Huzurevi, Yaşlılar, Zirve Ekspiratuar Akım Hızı, Öksürük Kuvveti.

1. INTRODUCTION

Aging is a multidimensional process with chronological, physiological, psychological, sociological and economic dimensions. In our country and in the world, individuals over the age of 65 are elderly, while individuals between the ages of 65-75 are considered as young elderly, 75-85 as middle-aged, and more than 85 as late elderly. Studies on geriarthritis are becoming more and more multidimensional in our country. In terms of physiotherapy, strength deficiencies and musculoskeletal injuries that occur with aging are the general context of geriatric rehabilitation.

Sarcopenia refers to the loss of general body muscle mass and strength seen in old age. As a result, it is a health indicator that even determines the age of death by negatively affecting the quality of life and functional capacity of the elderly. Sarcopenia is a condition defined by certain criteria accepted worldwide and may represent a condition that is more advanced than natural aging. Some older people in the same age group are sarcopenic while others are not.

In the literature, sarcopenia has been found to be related to exercise, nutrition, physical activity and body fat percentage as well as obesity, fall risk and diabetes. According to the criteria set by the European Working Group on Sarcopenic Seniors (EWGSOP) for sarcopenia; elderly people over the age of 65 who cannot complete the 4-meter walk test less than 0.8 m/sec and elderly people whose grip strength is less than 20 mmHg in women and 30 mmHg in men despite passing this test are considered sarcopenic (Santilli et al., 2014). Taekama et al. also has observed the functional capacity and psychosocial status of the elderly people whose grip strength was evaluated in their study and reported that grip strength is a value indicating the functional level and mental status of the elderly (Taekama et al., 2010). Another study examined the relationship between cognitive status and grip strength, concluding that there is a unidirectional association between cognitive functions and grip strength (Taekama et al., 2012). Although it cannot be said that individuals with better grip strength had better cognitive status, individuals with better cognitive status had better grip strength. Studies related to grip strength have mostly focused on cognitive, functional activity level, physical and psychological well-being (Taekama et al., 2012).

Grip strength is an objective assessment criterion that gives an idea about overall muscle strength in the elderly. With a different approach to the importance of the value of the grip, Bautmans et al. have demonstrated that grip endurance in old age may be related to fatigue and inflammatory responses. This study has suggested that grip strength may be an evaluation criterion in elderly people complaining of fatigue (Bautmans et al. 2006).

Another condition expected in old age is the loss of respiratory function. Decreased neurological stimulation, decreased cardiac output, decreased muscle strength, decreased respiratory compliance, and decreased pulmonary function test values are indicators of this condition in the elderly. In this process, respiratory mechanics are impaired, and exercise tolerance is weakened (Watsford et al., 2007). 12. Simões et al. assessed elderly people in different decades and tried to observe whether the decrease in the strength of respiratory muscles is directly proportional to age and concluded that respiratory muscles weaken in proportion to age (Simões et al., 2009). Efstathiou et al. have reported a positive correlation between Grip Strength and Inspiratory Muscle Strength (IMF) in young and middle-aged individuals, which they have related to the diaphragm being a muscle tissue (Efstathiou et al., 2016). Özyürek et al. reported that grip strength and cough strength were related in young people, and Shin et al. reported that leg muscle strength and inspiratory muscle strength were related in the elderly (Shin et al., 2017; Özyürek et al., 2018). Ohara et al. (2018) reported that MIP and MEP values for community-dwelling elderly were different in individuals with and without sarcopenia (Ohara et al., 2018).

There are studies indicating that grip strength can be used as an evaluation criterion in patients with impaired respiratory function in addition to the elderly population. While the 6-min walk test is a frequently used follow-up method in patients with impaired lung function, grip strength has become increasingly important in recent years. Kovarik et al. stated that for chronic obstructive pulmonary disease (COPD) patients, grip strength is more useful than the 6-min walk test to determine the stage of the disease and to evaluate the functional status of the patient. In addition, there are studies showing that there is a relationship between the decrease in respiratory capacity and grip strength deficits in hemiplegia patients due to respiratory muscle dysfunction (Kovarik et al., 2018; Li et al., 2024).

In the above studies, grip strength was associated with respiratory function in healthy subjects and patients. The relationship between grip strength and another respiratory parameter, cough force (PEFR and PCF), is a current research topic. The selected respiratory parameters are quickly accessible and simple to use devices for researchers. If a relationship is found, it can be used in studies to be conducted in larger populations.

In the light of all this information, our study was planned to “Investigate the Relationship Between Grip Strength and Cough Strength in Elderly Women Living in a Nursing Home”.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

Healthy elderly women aged 65 years and over who were residents of nursing homes in two centers were included in the study. All participants were thoroughly informed about the study's objectives and methodology, and their consent was obtained prior to their inclusion in the research.

The evaluations were carried out through face-to-face interviews. Data on participants' age, height, weight, marital status, educational background, and the presence of chronic diseases were collected using a standardized demographic form. Cognitive functions of the individuals participating in the study were measured by Standardized Mini Mental Test, hand grip strength was measured by Jamar Hand Dynamometer, PEFR and PCF values were measured by Clement Clarke Mini Wright Peak Flow Meter (PEFmeter). All evaluations were performed by a single investigator in the two centers mentioned at the beginning.

Inclusion Criteria:

- Volunteering to participate in the study,
- Being over 65 years of age,
- No cognitive dysfunction with a Mini Mental Test score of 24 or higher,
- Not having an orthopedic or neurological condition,
- To be independent in activities of daily living.

Exclusion Criteria:

- Uncontrolled hypertension, cardiac arrhythmia, cardiovascular disease,
- Severe chest wall deformity (scoliosis/kyphosis),
- Having malignancy and receiving chemotherapy or radiotherapy that causes malignancy.

2.1. Standardized Mini Mental Test (SMMT)

The Standardized Mini Mental Test (SMMT), which was first developed by Folstein et al. and found to be valid and reliable in the diagnosis of mild dementia in the Turkish population, was used to assess the mental status of the patients (Güngen et al., 2002). The test evaluates multiple cognitive domains, including orientation, memory encoding, attention and calculation, recall, and language skills. Administering the test typically requires around 30 minutes. In Turkey, the cut-off score for mild to moderate dementia is calculated as 23/24 (Güngen et al., 2002).

2.2. Dominant Hand Grip Force Measurement (Hand Grip)

The grip strength of participants was assessed using a hand dynamometer. Measurements were conducted with participants seated on a chair with arm support, their elbows flexed, the inner side of the elbow facing upwards, and their wrists in a neutral position. Participants were instructed to hold the dynamometer with their thumb on one side and four fingers on the other, then squeeze it at their maximum effort three times, with a one-minute rest interval between attempts. The highest value from the three trials was recorded (Bohannon et al., 2008). Grip strength was evaluated for both hands.

2.3. Peak Ekspiratuar Flow Rate (PEFR)

Peak Expiratory Flow Rate (PEFR) can be measured with simple, easily applicable instruments called PEFmeters. In addition, the patient's Peak Cough Flow (PCF) can also be measured with a PEFR meter (Ulubay et al., 2017). Clement Clarke Mini Wright Peak Flow Meter (PEFmeter) was used for both. It is important to perform the measurement correctly for PEFR. If the participant has done any work, he/she is expected to sit down, and rest and the respiratory function is expected to return to normal. The participant is asked to make a maximum inspiration, then wait for 2 seconds and then blow maximally into the mouthpiece of the device, ensuring that no air escapes from the side of the mouth and nose. This blowing time should be within a 1 s time frame. The dentures can remain if they do not interfere too much with the fit of the device. Three repeated PEFR maneuvers should be performed, and the maximum level should be recorded.

Peak Cough Flow (PCF) is measured under the same conditions. The difference is that in the PCF measurement position, the participant is asked to cough. The highest value seen on the device is recorded. This represents the maximum Flow of the participant's **Peak Cough Flow** (Özyürek et al. 2018)

3. RESULTS AND EVALUATION

Of the participants in this study, 9 were male and 11 were female (20 in total). 5 of the participants (25%) were smokers. In addition, 2 participants had diabetes, 11 participants had hypertension, 3 participants had low bone mineral density, and 9 participants had urinary incontinence. All participants were right dominant.

Table 1. Demographic Parameters

Parameters	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation

Height (cm)	150,00	185,00	164,00	0,105
Weight (kg)	47,00	95,00	71,75	14,650
Age (years)	60	89	74,15	8,701
Number of Chronic Diseases	0	5	2,10	1,294
Number of Medicines	0	15	4,05	3,993
Number of participants N=20				

Peak Expiratory Flow Rate and Peak Cough Flow were found to be statistically significantly, positively and highly correlated ($r:0.940$ $p=0.000$).

Grip strength was statistically significantly, highly and positively correlated with Peak Expiratory Flow Rate and Peak Cough Flow for both right and left sides. Right side grip strength was highly correlated with PEFr ($r:0.725$ $p=0.000$). Grip strength on the left side shows a strong correlation with PEFr ($r = 0.750$, $p < 0.001$). Similarly, right-side grip strength is highly correlated with PCF ($r = 0.789$, $p < 0.001$), and left-side grip strength also demonstrates a significant correlation with PCF ($r = 0.772$, $p < 0.001$).

Table 2. Relationship between grip Flow and PEFmeter

		Peak Expiratory Flow Rate	Peak Cough Flow	Grip Strength (Right)	Grip Strength (Left)
Peak Expiratory Flow Rate	r	1	0,940**	0,725**	0,750**
	Sig. (2-tailed)		0,000	0,000	0,000
Peak Cough Flow	r	0,940**	1	0,789**	0,772**
	Sig. (2-tailed)	0,000		0,000	0,000
Grip Strength (Right)	r	0,725**	0,789**	1	0,792**
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000		0,000

Grip Strength (Left)	r	0,750**	0,772**	0,792**	1
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	
	N	20			
**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). r: Pearson Correlation Coefficient					

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

In recent years, the number of studies suggesting that grip strength may be a marker of health-related parameters in both healthy and patient individuals has increased. When the results in the literature are examined, the fact that grip strength is associated with clinical and prognostic factors explains the reason for this interest.

Deficiencies in respiratory function are expected in old age. Decreased neurological stimulation, decreased cardiac output, decreased muscle strength, decreased respiratory compliance and decreased pulmonary function test values are indicators of this condition in the elderly. In this process, respiratory mechanics are disrupted, and exercise tolerance is decreased (Watsford et al., 2007). These impairments have been found to be directly correlated with age (Simões et al., 2009).

In this study, right and left grip strength and PEFr were measured in 20 elderly individuals to estimate lung function using grip strength. As a result, notable correlations were identified between grip strength and peak expiratory flow rate (PEFR) in elderly individuals.

Studies in the literature evaluated grip strength and cough strength in young healthy individuals (Özyürek et al., 2018) or functional respiratory parameters (FEV1, FVC) and found them to be related (Davies, 1992; Burchfiel et al, 1997; Hornby et al., 2005; Deary et al., 2006; Rožek-Piechura et al., 2014; Sillanpää et al., 2014; Bae et al. 2015; Schweitzer et al., 2017; Mgbemena et al., 2019; Zhu et al., 2020). Efstathiou et al. found that grip strength and inspiratory muscle strength (IMF) were positively correlated in young and middle-aged individuals and attributed this to the diaphragm being a muscle tissue (Efstathiou et al., 2016). In another study, it was found that MIP and PCF were associated with grip strength in the elderly, while maximum expiratory flow rate (MEP) was not (Bahat et al., 2014). Ohara et al. reported that MIP and

MEP values for community-dwelling elderly were different in individuals with and without sarcopenia (Ohara et al., 2018).

Grip strength is an indicator of overall skeletal muscle strength and may have an indirect impact on lung function. The physiological basis of this study lies in the strong association between skeletal muscle strength and the strength of the diaphragm and other respiratory muscles. Our results, along with consistent results from similar studies in the literature, highlight a significant relationship between grip strength and functional respiratory parameters. Further research involving diverse parameters is crucial to better understand the relationship between grip strength and lung function. Relevant studies with similar objectives were reviewed. A study by Smith et al. (2018) demonstrated a positive correlation between hand grip strength and lung volumes, with a 250-300 mL increase in FEV1 per standard deviation, in a cohort of healthy adolescents not involved in regular physical activity. A cross-sectional study in Korea on older women revealed a positive relationship between hand grip strength and FVC (Son et al., 2018). In an acute medical department, a study involving 50 individuals aged over 70 examined the relationship between hand grip strength and pulmonary function. Among spirometric parameters such as FEV1, FVC, peak expiratory flow, and peak cough flow, only peak cough flow demonstrated a significant association with hand grip strength. The overall correlation between hand grip strength and pulmonary function, however, was found to be weak (Holmes et al., 2017).

Grip strength assessment can be considered as an alternative method when methods assessing functional capacity cannot be used in elderly individuals. However, more studies are needed to support the relationship between grip strength and respiration. In general, when the studies are examined, it is remarkable that there are insufficient studies evaluating the relationship between peripheral muscle strength and coughing, which reflects the role of respiratory muscles more functionally and emphasizes its importance in the prevention of pulmonary complications in the clinic.

We think that our study has clinical importance in this respect. Accordingly, the results of this study may enlighten future research and rehabilitation assessment protocols regarding the usefulness of grip strength in predicting coughing strength in elderly people with respiratory problems.

REFERENCES

1. Bae, J. Y., Jang, K. S., Kang, S., Han, D. H., Yang, W., Shin, K. O. Correlation between basic physical fitness and pulmonary function in Korean children and adolescents: a cross-sectional survey, *Journal of Physical Therapy Science*, 27(9), 2687–2692, 2015.
2. Bahat, G., Tufan, A., Ozkaya, H., Tufan, F., Akpınar, T. S., Akin, S., Karan, M. A. Relation between hand grip strength, respiratory muscle strength and spirometric measures in male nursing home residents, *The Aging Male*, 17(3), 136-140, 2014.
3. Bautmans, I., Gorus, E., Njemini, R., Mets, T. Handgrip performance in relation to self-perceived fatigue, physical functioning, and circulating IL-6 in elderly persons without inflammation, *BMC Geriatrics*, 6(1), 1-8, 2006.
4. Bohannon R. W. Hand-grip dynamometry predicts future outcomes in aging adults, *Journal of Geriatric Physical Therapy* (2001), 31(1), 3-10, 2008.
5. Burchfiel, C. M., Enright, P. L., Sharp, D. S., Chyou, P.-H., Rodriguez, B. L., Curb, J. D. Factors Associated with Variations in Pulmonary Function Among Elderly Japanese-American Men, *Chest*, 112(1), 87–97, 1997.
6. Davies, G. J. *Compendium of isokinetics in clinical usage and rehabilitation techniques*. Simon & Schuster, 1992.
7. Deary, I. J., Whalley, L. J., Batty, G. D., Starr, J. M. Physical fitness and lifetime cognitive change, *Neurology*, 67(7), 1195–1200, 2006.
8. Efstathiou, I. D., Mavrou, I. P., & Grigoriadis, K. E. Correlation between maximum inspiratory pressure and hand-grip force in healthy young and middle-age individuals, *Respiratory Care*, 61(7), 925-929, 2016.
9. Güngen, C., Ertan, T., Eker, E., Yaşar, R., Engin, F. Standardize Mini Mental Test'in Türk toplumunda hafif demans tanısında geçerlik ve güvenilirliği, *Türk Psikiyatri Dergisi*, 13(4), 273-81, 2002.
10. Holmes, S. J., Allen, S. C., Roberts, H. C. Relationship between lung function and grip strength in older hospitalized patients: a pilot study, *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 12, 1207–1212, 2017.
11. Hornby, S. T., Nunes, Q. M., Hillman, T. E., Stanga, Z., Neal, K. R., Rowlands, B. J., ... et al. Relationships between structural and functional measures of nutritional status in a normally nourished population, *Clinical Nutrition*, 24(3), 421–426, 2005.

12. Kovarik, M., Joskova, V., Patkova, A., Koblizek, V., Zadak, Z., Hronek, M. Hand grip endurance test relates to clinical state and prognosis in COPD patients better than 6-minute walk test distance, *International Journal of COPD*, 13, 3429-3435, 2018.
13. Li, M., Huang, Y., Chen, H., Wang, S., Zhou, Y., Zhang, Y. Relationship between motor dysfunction, the respiratory muscles and pulmonary function in stroke patients with hemiplegia: a retrospective study, *BMC Geriatrics*, 24(1), 59, 2024.
14. Mgbemena, N., Jones, A., Leicht, A. S. Relationship between handgrip strength and lung function in adults: A systematic review, *Physiotherapy Theory and Practice*, 38(12), 1908-1927, 2022.
15. Ohara, D. G., Pegorari, M. S., Oliveira Dos Santos, N. L., de Fátima Ribeiro Silva, C., Monteiro, R. L., Matos, A. P., Jamami, M. Respiratory Muscle Strength as a Discriminator of Sarcopenia in Community-Dwelling Elderly: A Cross-Sectional Study, *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 22(8), 952–958, 2018.
16. Özyürek, S., Aktar, B. Sağlıklı Kişilerde Kavrama Kuvveti ile Öksürme Kuvveti Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, *Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi*, 5(1), 39-43, 2018.
17. Rożek-Piechura, K., Ignasiak, Z., Sławińska, T., Piechura, J., Ignasiak, T. Respiratory function, physical activity and body composition in adult rural population, *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 21(2), 369–374, 2014.
18. Santilli, V., Andrea, B., Massimiliano, M., Marco, P. Clinical definition of sarcopenia. *Clinical Cases in Mineral and Bone Metabolism*, 11(3), 177-180, 2014.
19. Schweitzer, L., Geisler, C., Johannsen, M., Glüer, C. C., Müller, M. J. Associations between body composition, physical capabilities and pulmonary function in healthy older adults, *European Journal of Clinical Nutrition*, 71(3), 389–394, 2017.
20. Shin, H. I., Kim, D. K., Seo, K. M., Kang, S. H., Lee, S. Y., Son, S. Relation Between Respiratory Muscle Strength and Skeletal Muscle Mass and Hand Grip Strength in the Healthy Elderly, *Annals of Rehabilitation Medicine*, 41 (4): 686-692, 2017.
21. Sillanpää, E., Stenroth, L., Bijlsma, A. Y., Rantanen, T., McPhee, J. S., Maden-Wilkinson, T. M., ... et al. Associations between muscle strength, spirometric pulmonary function and mobility in healthy older adults. *AGE*, 36(4), 966, 2014.
22. Simões, R. P., Castello, V., Auad, M. A., Dionísio, J., Mazzone, M. Prevalence of reduced respiratory muscle strength in institutionalized elderly people, *Sao Paulo Medical Journal = Revista Paulista de Medicina*, 127(2), 78–83, 2009.

23. Smith, M. P., Standl, M., Berdel, D., von Berg, A., Bauer, C. P., Schikowski, T., Koletzko, S., Lehmann, I., Krämer, U., Heinrich, J., Schulz, H. Handgrip strength is associated with improved spirometry in adolescents, *PloS one*, 13(4), e0194560, 2018.
24. Son, D. H., Yoo, J. W., Cho, M. R., Lee, Y. J. Relationship Between Handgrip Strength and Pulmonary Function in Apparently Healthy Older Women, *Journal of the American Geriatrics Society*, 66(7), 1367–1371, 2018.
25. Taekama Diana, Gussekloo Jacobjin, Majer B. Andrea, Westendorp Rudi G.J., De Craen Anton J. M., Hand Grip Strenght as a predictor of Functional Psychological and Social Health. A prospective Population Based Study Among the oldest old, *Age and Aging*, 331-334, 2010.
26. Taekema, D. G., Ling, C. H., Kurrle, S. E., Cameron, I. D., Meskers, C. G., Blauw, G. J., Westendorp, R. G., de Craen, A. J., Maier, A. B. Temporal relationship between handgrip strength and cognitive performance in oldest old people, *Age and ageing*, 41(4), 506–512, 2012.
27. Ulubay, G., Köktürk, N., Dilektaşlı, A. G., Şen, E., Çiftci, F., Demir, T., Yıldız, Ö., Gemicioğlu, B., Saryal, S. Ulusal Spirometri ve Laboratuvar Standartları, *Tüberküloz Toraks Dergisi*, 65(2), 117-30, 2017.
28. Watsford, M. L., Murphy, A. J., Pine, M. J. The effects of ageing on respiratory muscle function and performance in older adults, *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(1), 36–44, 2007.
29. Zhu, R., Li, W., Xia, L., Yang, X., Zhang, B., Liu, F., Ma, J., Hu, Z., Li, Y., Li, D., Jiang, J., He, Y., Shan, G. Hand grip strength is associated with cardiopulmonary function in Chinese adults: Results from a cross-sectional study, *Journal of Exercise Science and Fitness*, 18(2), 57–61, 2020.

PLANTING DESIGN APPROACHES FOR ROUNDABOUTS

Prof. Dr. Nilgün GÜNEROĞLU

Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture
nayhan@ktu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0825-0405

ABSTRACT

Today's cities, growing with increasing population, urbanization and industrialization, need strong grey infrastructure systems for sustainable living and efficient functioning. Gray infrastructures, which refer to man-made elements such as roads, bridges, sewers and power lines, form the basis of urban life. Transportation axes, which constitute an important part of gray infrastructure systems, play a vital role in the social, economic and environmental dynamics of a city. While a well-planned and effective transportation system improves the quality of urban life, an inadequate or irregular transportation infrastructure leads to traffic congestion, environmental pollution and economic losses. Especially roundabouts with high traffic density, where vehicles coming from different directions converge, stand out as critical points to optimize traffic flow, prevent accidents and ensure that drivers travel safely. For this reason, roundabouts zones should be designed and planned in accordance with their purpose. However, roundabouts should be evaluated not only in terms of functionality, but also in terms of their aesthetic and environmental dimensions, and should be considered as an important element of the urban landscape. Because roundabouts, just like streets and refuges, are among the important elements that strengthen the identity of the city and contribute to the quality of life. Planting designs for roundabouts should be planned with a multifaceted approach that considers aesthetic, environmental and economic balances. For these reasons, different planting designs were recommended and evaluated as an example of roundabout landscaping in this study. It has been evaluated that designing the roundabout with different landscape approaches can create various messages and emphases, from functionality to aesthetics, from environmental awareness to cultural identity.

Keywords : Transportation, Roundabout, Identity, Planting Design

1. INTRODUCTION

Urban identity is a mental representation formed by the general visual, social and cultural characteristics of a city perceived by those who use that city. This concept is shaped by a city's identity, symbols, spatial layout, historical texture and atmosphere (Güneroğlu & Bekar, 2017). In Kevin Lynch's book *The Image of the City*, he focused on physical relationships and introduced the elements of road, edge, region, node and sign, which are the spatial determinants of the image (Lynch, 1981). One of these five elements, roads, main streets, alleys and passages in the city are the basic elements of movement and access. In addition to these, the identity of a city is also affected by the ease of access to that city, access opportunities and the experiences experienced in this process. Transport infrastructure is also one of the main elements that determine the economic, touristic and social dynamics of cities. A well-planned and accessible transport network increases interest in a city. Especially the modernity, cleanliness and efficiency of the main transport hubs such as airports, bus terminals and railway stations have a great impact on the first impressions of visitors about a city. In addition, the user-friendliness of public transport systems, their sensitivity to the environment and their support with technological innovations provide an advantage for city residents and visitors. Subways, trams, bicycle paths and pedestrian-friendly areas create a positive image if cities adopt a sustainable transport approach. On the other hand, problems such as traffic congestion, old and inadequate transport network can lead to negative perceptions of a city. This situation reduces the quality of life for both locals and visitors and damages the identity of the city. The transport infrastructure of a city is important not only in terms of functionality, but also in terms of aesthetic and environmental values. Landscape design plays a critical role in these areas, especially since roads form the first impressions of cities (Güneroğlu et al., 2019). In this context, landscape designs surrounding roads and connection points are among the important elements that strengthen the identity of a city. Road landscapes that include modern, regular and natural elements are valuable in terms of both aesthetics and environmental sustainability and help the city to draw an environmentally friendly image (Fukahori & Kubota 2003; Wey & Wei 2016). Plants used on roadsides, medians and roundabouts can help reduce carbon emissions and improve air quality in cities. In addition, plant species with water-retaining properties and permeable surfaces can be effective in the management of rainwater and contribute to making cities more resilient to natural disasters such as floods (Aklıbaşında & Erdoğan, 2016).

Roundabouts, which are an important part of roads, play a key role in regulating vehicle traffic and ensuring a safe flow (Figure 1). These areas, where traffic coming from different directions converge and are directed, are critical points where drivers need to make decisions. A well-planned roundabout reduces traffic density and contributes to the prevention of accidents. However, not only the functionality but also the aesthetic and environmental effects of roundabouts where visibility and attention increase should be taken into consideration (Yetim & Yıldırım, 2022). Because roundabouts are one of the important green areas of cities (Macioszek, 2022). At this point, planting works at roundabouts gain importance in terms of both environmental sustainability and aesthetic value. In roundabout planting, both safety and aesthetic elements should be considered together (Sağlık et al., 2020). While aesthetic elements are prioritised in design, it should not be forgotten that plants can play a functional role such as directing traffic.



Figure 1. Visuals of roundabouts (A:URL-1, B:URL-2)

It is important that the vegetation used at junctions does not obstruct the drivers' field of vision for safety purposes. In particular, low height vegetation should be preferred instead of dense tall trees and shrubs. The use of colourful plants at the beginning of a particular roundabout arm provides correct orientation to drivers (Sağtekin, 2020). Dense and prominent plant arrangements in the centre of roundabouts help drivers to perceive the turning path more easily. The use of effective flower and leaf colours in plant design creates an aesthetic focus at roundabouts. Patterns designed with calming colours such as green and blue can reduce the stress of drivers. Stimulating colours such as red and yellow can create awareness by attracting drivers' attention. Patterns created with bright and contrasting colours attract drivers' attention and encourage them to reduce their speed and reduce the risk of accidents. In junction planting created by using the form effect of plants, prominent forms can increase the attention of drivers

by creating a sense of obstacle in their subconscious. In addition, natural forms emphasise comfort and artificial forms emphasise mobility and dynamism in junction planting. The clear and regular geometric patterns that make up the design provide visual guidance for drivers. These patterns can regulate traffic flow by clarifying the entry and exit points of roundabouts. Contemporary designs such as straight lines, sharp turns or undulating shapes can give cities a modern identity. Swirling or spiralling patterns in the centre of an roundabout can help drivers naturally reduce their speed. Plants can also create visual barriers in roundabout designs that encourage drivers to reduce their speed. In addition, fruiting and coniferous plant species should not be used at roundabouts as they can distract drivers and make the road slippery. Different design patterns used at roundabouts can create important messages and emphasis in various areas such as functionality, aesthetics, traffic safety and environmental sustainability. The colour, form, texture and layout characteristics of the patterns not only provide visual appeal, but can also carry functional and symbolic meanings for the region in which the roundabout is located. Sculptures, reliefs or planting patterns with architectural or cultural motifs specific to the region can be used at roundabout centres. In addition, themes that emphasise the historical, geographical or economic characteristics of the region can be selected for these centres. For these reasons, planting designs with different concepts were created in a roundabout example in this study. It was evaluated that these designs can create various messages and emphases from functionality to aesthetics, from environmental awareness to cultural identity.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Study area

A roundabout used to regulate traffic and ensure safe vehicular flow is selected as the study area. Roundabouts are usually designed to direct vehicular traffic around an islet. The central island of the selected roundabout is 2,800 m² and is formed by the roundabout of four roads (Figure 2). In the given roundabout, it is aimed to make the planting project of the green areas on the borders of the central island, landscaping buffer, splitter island and sidewalks in 1/1000 scale. The planting designs were realized by taking into account the different design features of the plants and the combination of plants according to different design principles. In addition, considering the area where the roundabout is located, design elements that can be identity elements such as water and plastic objects were used. Autocad and Photoshop programs were used for the planting designs.

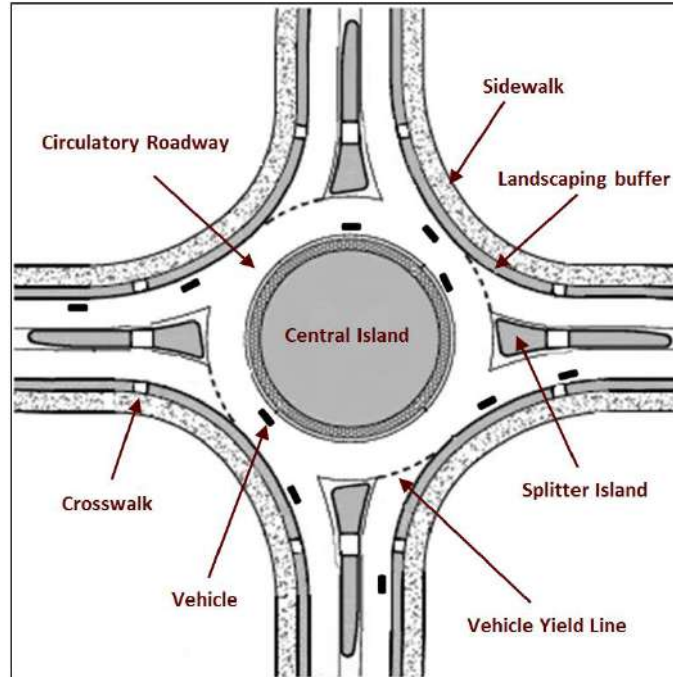


Figure 2. Study area (Çakıcı, 2014; Bozkurt & Yılmaz, 2020).

3. DESIGN SUGGESTIONS

3.1. Design suggestion 1

The first design suggestion was created by considering the leaf colors and sizes of the plants (Figure 3). On the roadsides, *Platanus orientalis* was used in intermittent repetitions as a solitary plant for emphasis in the middle of the alley and roundabout. *Acer rubrum* was used in splitter island areas, *Juniperus horizontalis* and *Berberis thunbergii* 'Atropurpurea' species were used in groups to create effective color and form at the roundabout and roadsides. In the landscaping buffer, *Ligustrum vulgare* was pruned and used as a border element. This boundary element guides both drivers and pedestrians and provides pedestrians with a comfortable, safe and aesthetic walking environment separated from vehicle traffic. In order for the planting design to be successful in the winter season, attention was paid to the intensive use of *Juniperus horizontalis* species considering its evergreen status. As seen in the planting plan, plant groups with red and burgundy leaf colors create a signal effect for drivers. Shrub species were used intensively in the center of the roundabout. Tall trees are positioned in the center in single and groups of 3 in order not to obstruct the view. Considering that the roundabout is located on the city periphery, plants are brought together in an informal arrangement in the composition. Water, fountains, fish and boats etc. are used as identity elements in the roundabouts of the cities located on the waterfront. For this reason, in this proposal, taking into account the fiction

that the study area is a coastal city, the water element and moving fountains are used as the identity element in the center of the roundabout.

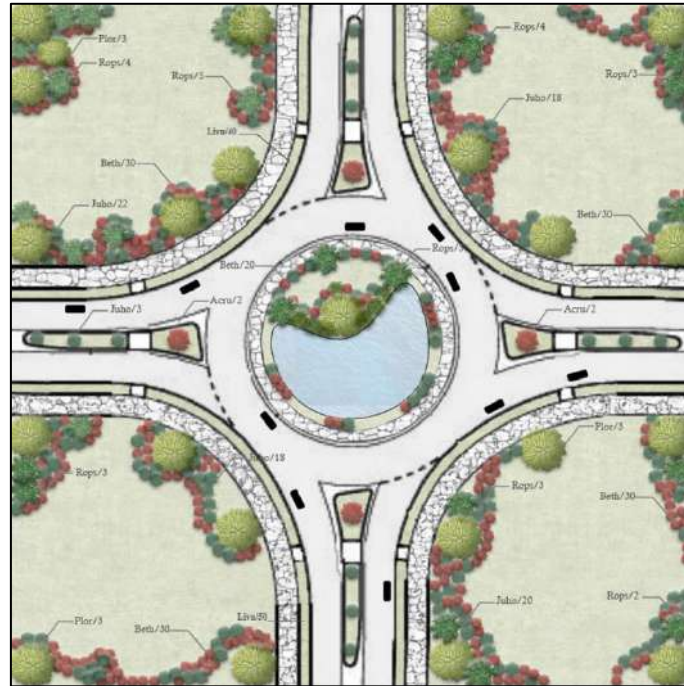


Figure 3. Planting sheet for design suggestion 1

3.2.Design suggestion 2

The second design suggestion was created by considering the leaf and flower colors and sizes of the plants (Figure 4). *Platanus orientalis* with full repetition and *Acer campsetre* species with group repetition were used on the roadsides with their autumn coloration. While deciduous species were preferred in the trees, evergreen *Viburnum tinus* and *Pittosporum tobira* 'Nana' species were used as border elements in dense groups considering the winter season in the lower layer. In the splitter island areas, *Viburnum tinus* in linear groups in the lower layer and *Acer palmatum* 'Atropurpureum' species with burgundy-colored leaves were used in the lower layer. In the landscaping buffer, *Rosmarinus officinalis* was pruned and used as a border element. This boundary element guides both drivers and pedestrians and provides pedestrians with a comfortable, safe and aesthetic walking environment separated from vehicle traffic. Considering that the roundabout is located in an area where pedestrian circulation is not intense in the city center, the plants in the composition are brought together with a formal order in the center and an informal order on the sides of the road. In the center of the roundabout, *Lolium* sp. and *Waldsteinia forrest* species are used as alternating strips towards the center so as not to

obstruct the view. *Salvia splendens* and *Viburnum tinus* species are designed as radial linear groups to emphasize the central object. *Waldsteinia forrest* and *Salvia splendens* groundcovers were preferred for their effective flowers. In addition, an object with cultural value representing the region where the roundabout is located was used in the center.

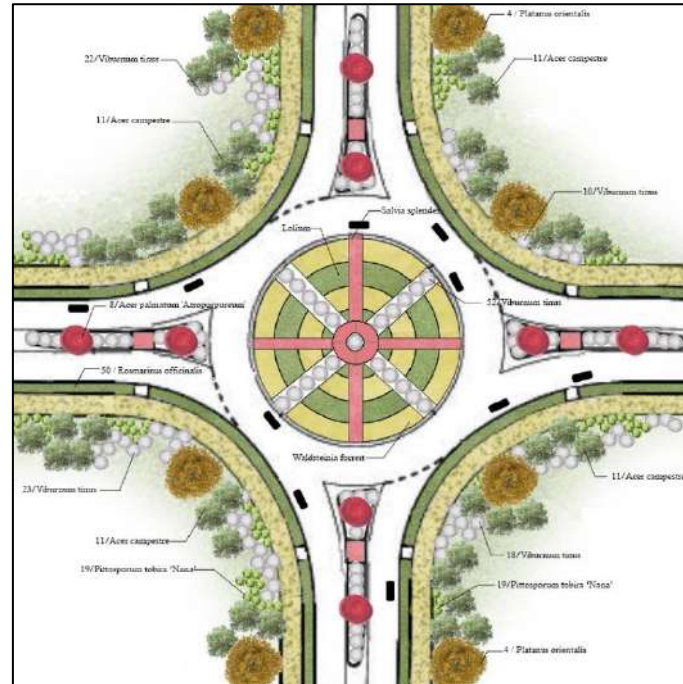


Figure 4. Planting sheet for design suggestion 2

3.3.Design suggestion 3

The third design suggestion was created by considering the leaf colors, forms and sizes of the plants (Figure 5). Considering that the roundabout is located in the center of the city in an area where pedestrian circulation is intense, plants were brought together in a formal arrangement in the composition. The amount of hard ground was increased along with the sidewalk and *Ginkgo biloba* trees, which attract attention with their autumn coloration and form, were used singly and in groups in this area. In the green area next to the dense hard ground, *Acer negunda* trees are used with a full repetitive arrangement. The trees are designed in linear groups to support the linear flooring character on the hard floor. *Lavandula angustifolia* shrub groups with their effective purple flowers are placed at the junction of the hard ground and green areas. In the landscaping buffer, *Nerium oleander* shrubs with their evergreen flowers are used as border elements. This boundary element guides both drivers and pedestrians and provides pedestrians with a comfortable, safe and aesthetic walking

environment separated from vehicular traffic. *Berberis thunbergii* 'Atropurpurea' and *Euonymus japonica* 'Aurea' species are designed in dense groups to create a signal effect in splitter island areas. *Sedum reflexum*, *Euonymus fortunei* and *Juniperus horizontalis* species were used in the geometric patterns created in the center of the roundabout so as not to obstruct the view. Since intense geometric forms were used in the center of the roundabout, no objects were used.



Figure 5. Planting sheet for design suggestion 3

4. CONCLUSION

As a result of the study, it was determined that plants are an important design element in the arrangement of roundabouts. In the designs created at the roundabouts, it was seen that the plants brought together in both formal and informal order can fulfill aesthetic and functional functions. Plants were designed to provide ease of orientation for drivers and to warn drivers. In addition to plants, roundabout designs were supported and diversified with the use of still or moving water elements and plastic objects. It is emphasized that plant compositions designed by using the color, form and size characteristics of coniferous and broad-leaved plant species can reduce the distraction of drivers that may be caused by environmental factors. Whether in the city center or in a rural area, it is seen that roundabouts have features that can attract the attention of local people and city visitors. Landscape architecture is an important actor in the planning and design of roundabout plantings. It is of great importance for the sustainability of

the applications that the relevant municipalities and other governing bodies receive support from landscape architects and related disciplines in roundabout planting applications.

For this purpose, effective cooperation between landscape architects and local governments should be established to ensure that aesthetically planted roundabouts also provide a safe, sustainable and environmentally friendly solution. In this context, considering that roundabout plantings have an important role in urban identity, importance should be given to roundabout planting designs.

REFERENCES

- Aklıbaşında, M. & Erdoğan, A. (2016). Nevşehir kentiçi yol bitkilendirmelerinin estetik-fonksiyonel yönden değerlendirilmesi ve kullanılan bitki türlerinin tespiti. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 18(1), 57-71.
- Bozkurt, H. & Yılmaz, H. (2020). Dönel Kavşakların Kavşak Güvenliği Üzerine Etkisinin Analizi. *Academic Perspective Procedia*, 3(2), 893-902.
- Çakıcı, Z. (2014). Sinyalize dönel (yuvarlakada) kavşakların tasarım esaslarının araştırılması, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- Fukahori, K. & Kubota, Y. (2003). The role of design elements on the costeffectiveness of streetscape improvement. *Landsc Urban Plan*, 63: 75–91.
- Güneroğlu, N. & Bekar, M. (2017). Dönüşüm ve kimlik kavramı: Trabzon örneği. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(4), 580-593.
- Güneroğlu, N., Bekar, M. & Kaya Sahin, E. (2019). Plant selection for roadside design:“the view of landscape architects”. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(33), 34430-34439.
- Lynch, K. (1981). *A Theory of Good City Form*. Cambridge: MIT Press.
- Macioszek, E. (2022). Roundabouts as aesthetic road solutions for organizing landscapes. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 115, 53-62.
- Sağlık, A., Ekiz, N., Bayram, S. & Temiz, M. (2020). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi kavşağı peyzaj düzenlemesinin incelenmesi. *Peyzaj*, 2(2), 78-85.
- Sağtekin, M. Z. (2020). İstanbul ili Anadolu Yakası 2. karayolu (D-100) güzergahındaki yeşil alanların bitkilendirme esasları ve öneriler, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yetim, Ş. & Yıldırım, D. Y. (2022). Trabzon’un ana yaya bağlantılarında dini yapıların algılanabilirliği. *GRID-Mimarlık Planlama ve Tasarım Dergisi*, 5(2), 193-225.

Wey W.M. & Wei, W.L. (2016). Urban street environment design for quality of urban life. *Soc Indic Res*, 126(1):161–186.

URL-1 <https://drla.ie/projects/tipperary-roundabout/> (Access date: 14/12/2024)

URL-2 <https://tr.pinterest.com/pin/690739661634364748/> (Access date: 14/12/2024)

INTERACTION OF TALL BUILDINGS AND URBAN TOURISM: THE CASE OF DUBAI, UNITED ARAB EMIRATES

Prof. Dr. Nilgün GÜNEROĞLU

Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture
nayhan@ktu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0825-0405

ABSTRACT

Cities are residential areas with a high population density and contain different economic, social and cultural structures. From past to present, cities have shown continuous development and change with environmental conditions, people's needs and technological developments. Some buildings constructed in this development process have gained value as image elements in cities. Tall buildings, which are effective in city character, are often the elements that shape the identity and attractiveness of the city. Tourists from all over the world travel to visit these buildings and experience their innovative designs. Their architectural achievements, the experiences they offer and their global recognition make them more attractive to tourists. Using tall buildings effectively in tourism strategies strengthens countries' position in the global tourism market. The history of the Emirate of Dubai, which was chosen as the study area, has an impressive story of transformation from a humble fishing village to an international trade and tourism center. With oil as the primary source of its economy, Dubai has developed a tourism and trade marketing department that emphasizes branding over time. From skyscrapers to artificial islands, from metro projects to touristic events, the city has become one of the most famous global destinations of tourism, finance and residence area. For these reasons, this study identifies the tourism activities in Dubai and evaluates the importance of tall buildings in the tourism sector. It has been determined that Dubai architecture is distinguished from buildings around the world with its innovative and bold landscape features that include different design approaches such as height, uniqueness, functionality, diversity, climate suitability, sustainability, innovation and technology.

Keywords : Scale, Structure, Image, Tourism, Dubai

1. INTRODUCTION

Cities are residential areas where people carry out activities such as living, working, production, trade and socialisation, usually with a dense population and hosting different economic, social and cultural structures. Throughout history, cities have constantly changed and developed in line with the needs of people, environmental conditions and technological advances. Natural, economic, social, political and cultural factors have a great influence on the shaping of cities. The first cities emerged after the agricultural revolution. With the development of agriculture, people settled down and excess agricultural production supported population growth. Irrigation systems enabled the development of agricultural production and trade, thus cities became economic and social centres. In the Middle Ages, cities were mostly small settlements surrounded by walls. Security and defence became one of the main factors in the shaping of cities. In the 18th and 19th centuries, the Industrial Revolution accelerated the urbanisation process. With the establishment of factories, cities have become places where production and labour force are concentrated. During this period, the population of cities increased rapidly, and the need for housing and infrastructure problems came to the agenda. The development of railways and other transport networks supported the growth of cities and metropolitan areas emerged. Today, cities are shaped under the influence of globalisation, digitalisation and sustainability. Climate change and environmental factors significantly affect urban planning and architectural decisions. Smart city technologies, energy efficiency and environmentally friendly construction are among the priorities of modern cities.

City image can be defined as a set of general perceptions and impressions that a city creates in the minds of individuals (Lynch, 1981). City image consists of three basic components: identity, physical structure and meaning. The combination of many elements such as the city's physical characteristics, cultural texture, socio-economic structure, historical heritage shapes the city image (Güneroğlu & Bekar, 2017). The presence of all these elements in a city determines the recognition, attractiveness and identity of that city. The image of a city can both increase the loyalty of residents to the city and make it a centre of attraction for tourists and investors. The elements that make up the city image are given in Table 1.

Table 1. Elements that make up the city image (Örer, 1993; Ilgın et al., 2018)

Natural and Geographical Structures	Natural Beauties	Natural elements such as sea, lake, river, mountain and forest in or around the city form the visual and environmental image of the city.
-------------------------------------	------------------	---

	Climate	The climate of the city can affect people's perception of the city.
Historical and Cultural Buildings	Monumental Buildings	Historical monuments, castles, palaces and temples are the most prominent image structures of cities.
	Historical Bazaars and Streets	Ancient streets, marketplaces or historical city centres offer an impression of the city's past.
	Cultural Centres	Museums, art galleries, concert halls and theatres are among the important structures that emphasise the cultural richness of cities.
Modern Architecture and Urban Spaces	Landmark Buildings	Landmark buildings built in the modern period enable cities to be recognised on a global scale.
	Urban Areas	Squares, parks, boulevards and walkways form the heart of the social life of cities.
Transport and Infrastructure Structures	Bridges and Roads	Well-designed transport structures can strengthen the city image.
	Ports, Airports and Stations	Transport centres with modern and impressive designs contribute to the image of the city.
Symbolic and Iconic Elements	City Landmarks	A special symbol or structure that distinguishes a city from others can define the image of that city.
	City Logo and Slogan	Logos and slogans used in the promotion of cities are also part of image structures.
Social and Cultural Image Structures	Festivals and Events	International festivals organised by a city create a positive image of that city.
	Local Life and People	The hospitality, lifestyle and daily activities of the inhabitants affect the social image of the city.
Economic and Commercial Structures	Finance Centres	Modern financial buildings and business centres symbolise the city's economic power.
	Shopping Areas	Prestigious shopping centres and boutique stores give the city a luxurious and modern image.
Environmental and Sustainability Aspects	Green Areas	The abundance of green areas in the city increases the perception that the city is environmentally friendly and liveable.
	Environmentally Friendly Applications	Recycling systems, bicycle paths and the use of renewable energy play an important role in the image of modern cities.

Tall buildings, which constitute the image of the city, are often the elements that shape the identity and attractiveness of the city. Throughout history, tall buildings have been the centre of attention of humanity and have become a symbol of social, cultural and technological developments in every period. From ancient times to the present day, monumental tall buildings built in different periods, from pyramids to ziggurats, from cathedrals to modern skyscrapers, reflect people's desire for dominance over nature and their aesthetic understanding. While such buildings were constructed as a result of technological advances, they have also become symbols of concepts such as superiority and power. In the modern period, the functions of tall buildings have gone beyond monumental and religious buildings and transformed into residential, office and mixed-use areas. This transformation is a reflection of the changes in the economic and social structures of cities (Ulutaş, 2018). Tall buildings directly affect the silhouette and image of the city in which they are located, as they have quickly recognisable

features on the urban plane. In addition to adding aesthetic value to urban areas, such buildings also function as economic and touristic attraction centres (Figure 1).

Urban tourism refers to tourism activities that take place in urban areas away from rural areas. This type of tourism involves visitors experiencing cultural, historical and modern attraction centres, especially in cities where sectors such as administration, trade, production and services are intensive. Urban tourism increases the international recognition and brand value of cities. Modern and tall buildings have gained increasing popularity in urban tourism. In addition, cities stand out as tourist destinations thanks to their iconic tall buildings. For these reasons, tall buildings, which are symbols of the modern world, play an important role in the preference of a country as a tourism destination.

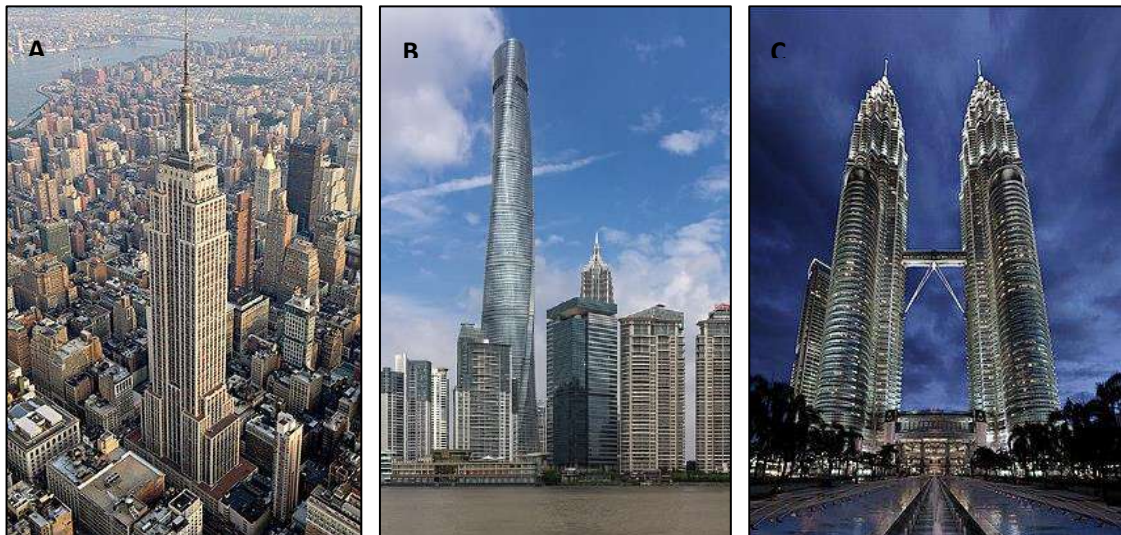


Figure 1. A: Empire State Building, USA, B: Shanghai Tower, China, C:Petronas Towers, Malaysia
(A:URL-1, B:URL-2, C:URL-3)

2. MATERIAL AND METHODS

2.1.Study Area

Dubai is one of the seven emirates within the United Arab Emirates (Figure 2A). It borders the Persian Gulf and is neighbored by Abu Dhabi to the south and Sharjah to the northeast. The area of Dubai is approximately 4,114 km² and it is the second largest emirate of the United Arab Emirates. Dubai has a desert climate with extremely hot and dry weather conditions. Average temperatures are high throughout the year. Precipitation is very rare in Dubai, and rainfall can often last for several days during the winter months. Since Dubai is located in a region with a desert climate, it has limited natural vegetation. The vegetation of the

region consists mostly of desert plants. However, green areas are being created in the city, which are characterised by sustainable landscaping. The emirate, most of which is covered with sand, is remarkable with its coasts, natural harbours and lagoons (Figure 2B). Dubai is also a city of technological innovations and artificial wonders in harmony with nature. When the factors that make Dubai attractive for tourists are analysed, it is observed that the most important promotional tools of the city are modern architecture and engineering structures. In this article, the role of tall buildings in the preference of Dubai as an urban tourism destination will be discussed. For this purpose, literature review, tour programmes and social media tools were used to reach the tourism destinations of the city. By evaluating this information, the contribution of tall buildings to urban tourism is analysed.

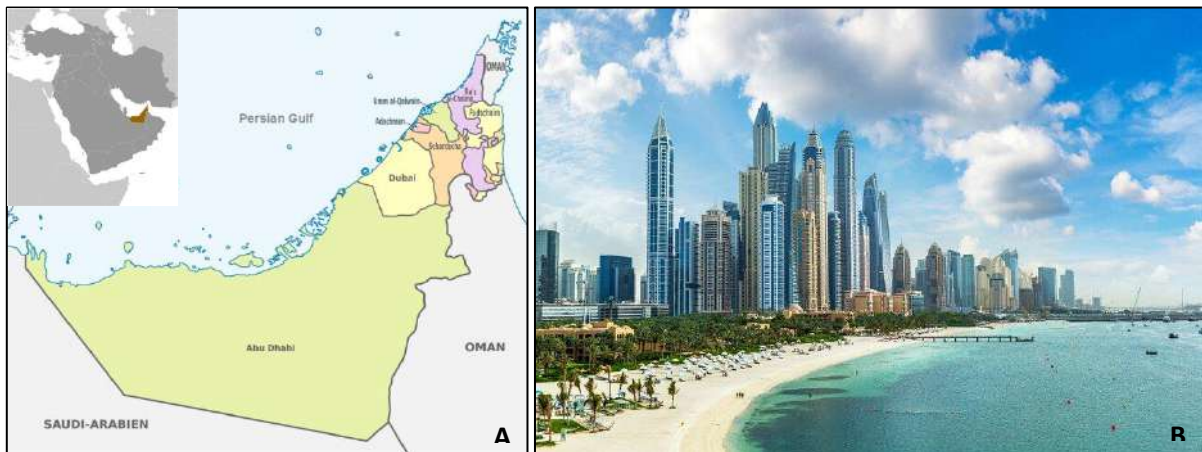


Figure 2. Study area (A: URL-4, URL-5, B: URL-6)

3. RESULTS

Dubai is distinguished worldwide for its architectural innovation, iconic designs and touristic functionality. With these features, the city has become not only a regional but also a global centre of attraction. Out of a population of approximately 3.5 million, only 15 per cent are locals. As a holiday destination combining luxury and modernity, Dubai has many activities and places to visit (Table 2). The main reasons why Dubai is preferred for tourism purposes are warm weather in winter months, easy accessibility from all over the world, low crime rate and security. In addition to these, high standards in areas such as health, transportation and accommodation, world-renowned luxury hotels, large shopping malls, luxury brands and wide entertainment opportunities, high dimensions, design and material diversity in architecture, historical and cultural sites, traditional dances and food, sporting events and festivals make

Dubai stand out as a holiday destination (Bala & Stevenson, 2024). In addition, Dubai's desert safaris, cultural riches and traditional souks offer a combination of the historical and modern face of the city. In the shadow of modern skyscrapers, the souks, reflecting the spirit of old Dubai, have a unique atmosphere for shopping for spices, gold and textiles. Dubai, which welcomes tourists equally every month of the year, was visited by 8.36 million foreign tourists in the first 6 months of 2019 (Yas, et al., 2020). The emirate, where the number of 4 and 5-star hotels is increasing day by day, ranks 3rd in the world in taxi services (Alsuwaidi, 2020; Ishfaq, 2020). In Dubai, structures that push the boundaries of engineering in line with technological developments stand out. The principles of height, scale, uniqueness, functionality, diversity, climate suitability and sustainability stand out in the buildings. With Burj Khalifa, the world's tallest building, Dubai stands out from other major cities of the world with its tall building density and architectural diversity. At 828 metres high, the Burj Khalifa is the tallest building in the world and has become the city's landmark. The panoramic view of Dubai from this colossal structure offers visitors an unforgettable experience.





Table 2. Activities and places to visit in Dubai




	Places to Visit	Activities that can be done
Structures	Burj Khalifa	Tasting traditional flavours
	Burj Al Arab	Learning the history of the city
	Princess Tower	Shopping
	Almas Tower	Taking a photo
	Cayan Tower	Desert safari
	Jumeirah Emirates Towers	Skydiving
	Dubai Frame	Camel ride
	One za'abeel	Surfing
	Jumeirah Mosque	Sand surfing
	Ain Dubai	Camping in the desert
	Atlantis The Palm	Yacht trip
	Atlantis The Royal	Helicopter tours
	Al Fahidi Historical Castle	Sunbathing
	Dubai Opera	Swimming
	Museum of the Future	Kite beach
	Mohammed Bin Rashid Library	Fisheries
	Aura Skypool	Jetsky
The View at The Palm	Watching water shows	
Outdoor Spaces	Jumeirah Beach	Viewing the landscape
	Palm Jumeirah	Skiing
	Dubai Marina	Scuba diving
	Dubai Miracle Garden	
	Dubai Fountain Show	
	Dubai Parks and Resorts	
	Dubai Desert	
	Expo City Dubai	
	Spice Souk	
	Gold Souk	
	Al Fahidi Historic Quarter	
	Dubai Creek	
	Global Village	
Souk Madinat Jumeirah		
Indoor Spaces	Dubai Akvaryum-Underwater Zoo	

Ski Dubai
IMG Worlds of Adventure
Deep Dive Dubai
Dubai Mall

Dubai is also famous for the Dubai Mall, one of the largest shopping centres in the world. It is not only a shopping centre, but also a living space with many activities such as aquariums, ice skating rinks and amusement parks. Burj Al Arab, one of the first places that come to mind when it comes to luxury hotels, is known as the most luxurious hotel in the world. This sail-shaped structure is an engineering marvel on the sea and popularised the concept of ‘7 star hotel’. One Za'abeel is an iconic structure that adds a new dimension to Dubai's skyline. One Za'abeel, which consists of two tall buildings connected by a cantilever, stands out as an important structure that increases the touristic attraction of Dubai with its architectural innovations and luxury experiences. The cantilever structure named The Link holds the Guinness World Record and is recognised as a great achievement in terms of engineering and design. Observation platforms, restaurants and entertainment activities in these structures increase the preferability. Dubai is also a city of technological innovations and artificial wonders in harmony with nature. The Palm Islands are among the most remarkable man-made islands. Designed in the shape of a palm tree, these islands are home to both luxury residences and tourist attractions.

Table 2. Examples of tall and modern buildings in Dubai

	<p>Burj Khalifa: It is the tallest building in the world with 163 floors and 828 metres in length. It is the first building to be constructed with steel construction on a reinforced concrete mass. It is also the only building with the fastest and highest elevator. (Photo:URL-7).</p>		<p>Atlantis The Royal: One of the most luxurious hotels in the world, it is 185 metres long with 43 floors. The building, which consists of layers of blocks, is quite remarkable with its modern architecture and groundbreaking facilities. (Photo:URL-14).</p>
	<p>Princess Tower: Located in the Dubai Marina area, it is the second tallest residential building in the world with 101 floors and 414 metres in length. It is one of the iconic buildings reflecting the luxury lifestyle. (Photo:URL-8).</p>		<p>Atlantis The Palm: Atlantis The Palm, one of Dubai's landmarks, is located at the very tip of the Palm Jumeirah island and offers spectacular views of the Arabian Gulf. (Photo:URL-15)</p>

	<p>23 Marina: Located in the Dubai Marina area, this building is one of the tallest residential buildings in the world with a length of 90 floors and 392.8 metres. It combines luxury living standards and modern architecture. (Photo:URL-9).</p>		<p>Museum of the Future: The 7 m and 77 m long structure is a symbol of Dubai's technological vision. It is built without the use of traditional columns and has an oval ring shape. It is environmentally friendly thanks to its energy efficient design. (Photo:URL-16).</p>
	<p>Almas Tower: Located in the Jumeirah district, this building is one of the symbolic buildings of the city with its 68 floors and 360 metres length. It is a building with offices created especially for the jewellery and precious stone trade. (Photo:URL 10).</p>		<p>Dubai Frame: At 150 metres long, it is the largest frame in the world, designed with the concept of merging the past and the future in a single frame. it is a popular destination where the city panorama can be experienced. (Photo:URL-17).</p>
	<p>Burj Al Arab: Located on Jumeirah Beach, it is one of the most luxurious hotels in the world with a length of 321 metres and 60 floors. Inspired by the traditional sailing boats of the Arabian Peninsula, it is famous for being the first 7-star hotel. (Photo:URL 11).</p>		<p>Dubai Opera: Located next to the Burj Khalifa, the design of the building references Dubai's maritime past and trade heritage. It is an important landmark that brings together eastern and western cultures. (Photo:URL-18)</p>
	<p>Jumeirah Emirates Towers: It is a complex with two towers, one 309 metres and the other 354 metres tall, one of which serves as a hotel and the other as an office. It provides energy efficiency with environmentally friendly design features. (Photo:URL-12).</p>		<p>Mohammed Bin Rashid Library: Located in the Al Jaddaf area, the library is considered an important symbol of Dubai's cultural vision with its modern design in the shape of an open book. It is equipped with energy-saving systems. (Photo:URL-19).</p>
	<p>Cayan Tower: At 306 metres long and 76 storeys, it is an iconic element of the Dubai Marina skyline. The building has gained worldwide fame for its 90-degree twisted architecture and is considered one of the finest examples of modern architecture. (Photo:URL-13).</p>		<p>One Za'abeel: It is the building with the world's longest console (67.5 metres) between two skyscrapers 300-235 metres long. The building, with its hotel, residential and commercial areas, was built according to environmentally friendly design criteria. (Photo:URL-20)</p>

4. CONCLUSION

Tall buildings are one of the most important elements that strengthen the identity and brand value of a city. Buildings with iconic and innovative designs are not only an architectural achievement, but also a symbol that increases the cultural, economic and touristic attraction of

the city. Although the presence of tall buildings is an important step for the modernisation of cities and the development of tourism, it is a great necessity not to damage historical elements and cultural values. Historical buildings and traditional architecture are the most valuable elements of a city's cultural identity. Preservation of these elements is important not only to carry the traces of the past to the future, but also to support cultural tourism and to give the city a unique character. Cities where modern buildings and historic fabric coexist in harmony become more attractive to tourists, while at the same time enabling local people to take pride in preserving their cultural values. Therefore, tall building projects should prioritise the preservation of cultural heritage and the enrichment of a city's identity. In this respect, Dubai has both preserved its traditional architecture and emphasised tall modern buildings. In fact, it has come to the forefront as the city of the best in the world with its eye-catching projects and ever-growing vision. As can be seen from the examples, each of the tall buildings reflects Dubai's modern city identity with their unique designs. It is seen that these buildings play an extremely effective role in the preference of Dubai as a tourism destination.

REFERENCES

- Alsuwaidi, M. S. (2020). The employability of qatari citizens in the hospitality sector: Current challenges and future prospects. Master's thesis, Qatar University.
- Bala, M., & Stevenson, K. (2024). The Role Of Public Spaces In Promoting Sustainable Tourism: A Case Study In Dubai. *Educational Administration: Theory and Practice*, 30(4), 1594-1606.
- Güneroğlu, N., & Bekar, M. (2017). Dönüşüm ve kimlik kavramı: Trabzon örneği. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(4), 580-593.
- Ilgın, H. Ö., Ertekin, İ., & Yengin, D. A. (2018). İmaj ve kurumsal imaj bağlamında kent imajı. *Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, 8(2), 203-215.
- Ishfaq, S. (2020). Dubai's taxing life: Pakistani cab drivers & perceptions of discrimination from passengers. *Social Identities*, 26(2), 203-218.
- Lynch, K. (1981). *A Theory of Good City Form*. Cambridge: MIT Press.
- Örer, G., 1993. İstanbul'un Kentsel Kimliği ve Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Terzi, C. & Gürbüz, A. (2020). The Role Of Architectural And Engineering Creations In Tourism, *SCIENCE INNOVATION, A Journal of Structural Science and Innovation*, 39-46. (<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1259927>)

Ulutaş, Ö. O. (2018). Yüksek binaların kent imajı üzerindeki etkisinin marka değeri bağlamında değerlendirilmesi örnek: Bursa, Nilüfer. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa.

URL-1: https://tr.wikipedia.org/wiki/Empire_State_Binas%C4%B1 (Access date: 12/12/2024)

URL-2: https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Dosya:Shanghai_-_Shanghai_Tower_-_0003.jpg (Access date: 12/12/2024)

URL-3: https://tr.wikipedia.org/wiki/Petronas_%C4%B0kiz_Kuleleri (Access date: 13/12/2024)

URL-4:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3f/United_Arab_Emirates_%28%2Bclaims%29%2C_administrative_divisions_-_de_-_colored.svg (Access date: 13/12/2024)

URL-5: <https://tr.pinterest.com/pin/40813940359697966/> (Access date: 14/12/2024)

URL-6: <https://whizolosophy.com/category/the-legacy-we-leave/article-essay/exploring-the-12-best-beaches-in-dubai-in-2024-25> (Access date: 14/12/2024)

URL-7: https://tr.wikipedia.org/wiki/Dubai%27deki_en_y%C3%BCksek_binalar%C4%B1n_listesi (Access date: 12/12/2024)

URL-8: <https://eppicpdm.com/princess-tower/> (Access date: 12/12/2024)

URL-9: https://www.tfod.in/photo-space/4130/marina_23_in_dubai_cityscape (Access date: 15/12/2024)

URL 10: <https://www.skyscrapercenter.com/dubai/almas-tower/298> (Access date: 18/12/2024)

URL 11: <https://www.visitdubai.com/tr/articles/best-places-for-views-of-burj-al-arab> (Access date: 11/12/2024)

URL-12: <https://jumeirah-emirates-towers-hotel-dubai.hotelmix.vn/#lg=37587&slide=1586108248> (Access date: 11/12/2024)

URL-13: https://www.architectmagazine.com/design/buildings/cayan-tower-designed-by-skidmore-owings-merrill_o (Access date: 12/12/2024)

URL-14: <https://www.archdaily.mx/mx/1009476/hotel-atlantis-the-royal-kpf> (Access date: 12/12/2024)

URL-15: <https://www.visitdubai.com/en/places-to-visit/atlantis-the-palm> (Access date: 15/12/2024)

URL-16: <https://www.shutterstock.com/tr/search/dubai-museum> (Access date: 15/12/2024)

URL-17: <https://www.skyscrapercenter.com/building/dubai-frame/19644> (Access date: 20/12/2024)

URL-18:<https://dubaiiverse.io/news/dubai-opera-announces-the-2023-2024-season-a-celebration-of-the-cultures-of-the-world/> (Access date: 20/12/2024)

URL-19:<https://www.mediaoffice.ae/en/news/2023/September/20-09/Mohammed-Bin-Rashid-Library-Launches-A-World-in-Your-Language-Initiative> (Access date: 23/12/2024)

URL-20:<https://www.cbre.ae/press-releases/cbre-exclusively-appointed-as-joint-leasing-advisor-of-one-zaabeel> (Access date: 17/12/2024)

Yas, H., Mardani, A., Albayati, Y. K., Lootah, S. E., & Streimikiene, D. (2020). The positive role of the tourism industry for Dubai city in the United Arab Emirates. *Contemporary Economics*, 14(4), 601.

EXAMINING THE PLACE OF WATER USE IN URBAN PARKS THROUGH PROJECT EXAMPLES

Research Assistant Dr. Demet Ülkü GÜLPINAR SEKBAN

Karadeniz Technical University,
Faculty of Forestry,
Department of Landscape Architecture
Trabzon, Türkiye
ORCID: 0000-0002-9614-6009
demetsekban@ktu.edu.tr
05552723144

Asist. Prof. Dr. Makbulenur ONUR

Karadeniz Technical University
Faculty of Forestry
Department of Landscape Architecture
Trabzon, Türkiye
ORCID: 0000-0003-4511-1284
mnurbekar@ktu.edu.tr
05399314725

ABSTRACT

Urban parks are public spaces designed to preserve natural and semi-natural qualities within dense urban tissue, and to offer users outdoor recreation, rest and socialization opportunities. These spaces help revitalize local ecosystems and strengthen the interaction of urban dwellers with nature against problems such as increasing urbanization pressure, concreting, air pollution and loss of biodiversity. Urban parks increase the quality of urban life with their aesthetically valuable landscaping and recreational facilities, while also contributing to the preservation of ecological balance as an important element of green infrastructure. Water has always been a central resource and an emphasized element in the design of urban parks. Water is indispensable for the healthy functioning of ecosystems as it meets the basic living needs of humans. Water resources provide suitable habitats for flora and fauna, regulate the local climate and support the natural cycle of the landscape. In addition to this importance in terms of the ecosystem, water also stands out as an aesthetic and recreational element in park areas. Various water elements, ponds, ornamental pools, fountains and streams increase visual quality and offer users a peaceful and interesting experience. Water also forms the basis of recreational activities (boat tours, water playgrounds, etc.) for different age groups. In this study, by examining current urban park project examples, it is seen that new trends have emerged in the use of water. Water

elements, which mostly served aesthetic perception in the past, have become an inseparable part of ecological sustainability and the idea of preserving natural balance today. New design approaches stand out with strategies such as collecting and reusing rainwater, optimizing irrigation systems and creating plant compositions that support water ecosystems. Thus, without ignoring the recreational potential of water, design solutions compatible with ecological principles come to the fore. As a result, the place of water use in urban parks is being reshaped in line with sustainability, ecosystem protection and efforts to create multifunctional recreational areas, as well as aesthetic benefits.

Keywords: Urban parks, water use, water and ecology, water and multi-function

1. INTRODUCTION

Urban parks have great social and ecological importance as multi-dimensional and multi-functional spaces that have directly affected the dynamics of urban life from past to present. Today, rapid urbanization, increasing population and the gradual decrease in green areas under negative urban pressures have made the necessity of urban parks more than ever. Many recent studies have determined that urban parks play important roles in protecting the physical and mental health of city dwellers, regulating the urban climate thanks to their components and ensuring ecological balance (Hanna, Bruno, & Comín, 2024). Especially in crowded and stressful urban environments, urban parks increase the quality of life of individuals by providing clean air, rest and recreation opportunities, socializing areas and contact with natural elements (Bray, Reece, Sinnett, Martin, & Hayward, 2022; Clarke et al., 2023).

One of the greatest contributions of city parks to society is that they provide an open and inclusive space for all age groups (Peters, Elands, & Buijs, 2010; Qi, Mazumdar, & Vasconcelos, 2024; Sundevall & Jansson, 2020). These parks are not only aesthetic but also a socio-cultural attraction point (Aydemir, Çetinkaya, Güngör, & Ömüriş, 2024; Bazrafshan, Tabrizi, Bauer, & Kienast, 2021; Chiesura, 2004). Different social segments come together and interact on park walkways, playgrounds, sports fields or recreation areas. Thus, city parks serve as a background that strengthens social cohesion and neighborhood relations. In addition, the organization of cultural activities such as outdoor events, concerts and festivals allows parks to become cultural stages within the city.

From an ecological and environmental perspective, urban parks are an important part of the urban ecosystem (Remme et al., 2021). Vegetal structures such as trees, shrubs and grasses

play a direct role in improving air quality and reducing problems such as dust, noise and heat island effect. They create a healthier respiratory environment by filtering air pollution, especially that caused by heavy traffic and industrial activities (Guneroglu, Bekar, & Kaya Sahin, 2019). At the same time, urban parks support the biodiversity of the city and provide habitats for creatures such as birds, insects and small mammals. In this respect, they also undertake the task of maintaining the natural cycle in the ecosystem within the city to some extent.

When we look at the components of the urban landscape, we see that one of the most basic elements of the design is “green infrastructure”, namely plant design. In this context, the trees, bushes, seasonal flowers and grass areas used determine both the functional and aesthetic value of the parks. Topographic arrangements are also an important part of the park design; elevations, hills and sloping surfaces allow for different uses of the area and create an aesthetic rhythm. In addition, functional elements such as pedestrian paths, sports and playgrounds, urban furniture (seating units, lighting elements, garbage cans, etc.) facilitate the interaction of users with the park and provide a comfortable usage experience (Whalley, 1988). Water elements have a special place in the urban landscape. Water elements that appear in different forms such as ponds, fountains, ornamental pools and stream beds enrich the general design character of the park (Langie, Rybak-Niedziółka, & Hubačíková, 2022). The visual appeal and calming effect of water allow users to relax and get away from stress. In addition, it is known that interaction with water (e.g. sitting near the water, walking with the sound of water) has positive psychological effects on people. In this context, the presence of water elements in urban parks is important not only in terms of aesthetics but also in terms of user experience and health (Langie et al., 2022).

From an ecological perspective, water elements support the water cycle in the urban ecosystem (Burian & Pomeroy, 2010; Swyngedouw, KaĭKa, & Castro, 2002). Ponds and water channels in the park provide feeding, sheltering and breeding grounds for many creatures, especially birds. Especially for migratory birds, water surfaces in the park are of vital importance as a short-term stopover or feeding point. Increasing the water availability in the city also contributes to the protection of underground water levels. If correct water management and planting strategies are implemented, water elements can also be effective in mitigating the urban heat island effect.

This study aims to examine the usage patterns, functions and design approaches of water landscape elements in urban parks. Within the scope of the study, firstly, the place of water

elements in park spaces, their ecological contributions and aesthetic values will be discussed; an evaluation has been made on various applications such as ponds, ornamental pools, fountains, sprinkler systems and stream beds. In this context, it has been examined for what purposes, in accordance with which design principles and under which physical conditions water elements are used in urban parks; Thus, the role of water in increasing spatial quality, its effects on user satisfaction and ecological sustainability have been revealed. As a result, how water can be integrated into park designs as a landscape element and the urban and social benefits of this integration will constitute the main focus of the study.

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, a total of 98 parks that have been completed and actively used by users were examined in order to determine the usage patterns of water landscape elements in urban parks. Landezine database was used within the scope of the examination (Landezine, 2023). Landezine is a valuable resource for examining landscape architecture projects realized worldwide. In order to reliably examine the distribution of water-related projects by year:

1. Project data cards or project identifiers
2. “Year of completion” or “Year of publication” information
3. The existence and quality of the water element (aesthetic, ecological, recreational, etc.)

were analyzed. Later, together with the information obtained from here, data regarding the parks were collected during the examination process through project reports and photographic documentation of the relevant park designers. While the design drawings and application details in the project reports provide information about the planning processes and design approach of the parks, the photographs revealed the characteristics of the water elements such as their location, shape and scale within the area more concretely. During the data collection phase, firstly the project reports of each park were examined and the existence, quality and function of the water component (pond, ornamental pool, fountain, stream bed etc.) were recorded. Then, the obtained project data were evaluated comparatively with the field photographs, and it was tried to determine to what extent the applications specified in the reports were actually implemented. The photographs constituted an important source in analyzing the spatial location of the water element and user interaction. The collected data were examined with the descriptive analysis method and a categorical framework was created for each park with the basic distinction of “water element present/absent”. In addition, if the water element was present, sub-classifications were made according to its formal and functional characteristics (e.g.

recreation, aesthetics, ecological etc.). Thus, it was revealed which design trends the 98 parks examined had in terms of water landscape elements and how these trends were reflected in their intended uses.

3. FINDINGS AND DISCUSSION

Within the scope of this study, a total of 98 projects published on the Landezine platform and belonging to different years were examined (Landezine, 2023). When the distribution of projects according to their completion years was examined, it was determined that there were 15 projects from 2024, 24 from 2023, 15 from 2022, 8 from 2021, 4 from 2020, 1 from 2019, 6 from 2018, 3 from 2017, 5 from 2016, 1 from 2015, 1 from 2014, 5 from 2013, 3 from 2012, 1 from 2011, 1 from 2009 and 3 from 2005 (Figure 1). Accordingly, it is seen that the number of projects for 2023 (24) is the highest compared to other years, followed by projects for 2024 and 2022 (15each).

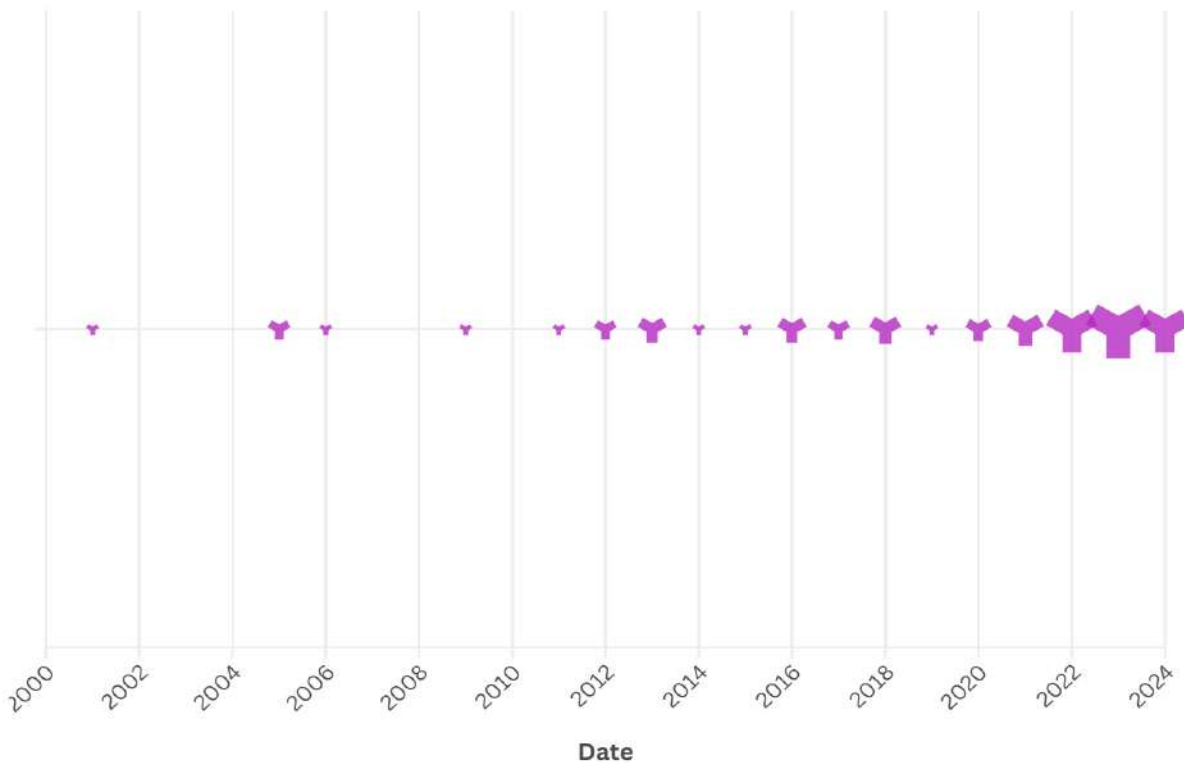


Figure 1. Distribution of the projects examined in the study by year

It was determined that only 5 of the 98 projects examined did not use the water element. It was determined that the 5 projects where water was not used were generally urban space arrangements or designs that focused on hard ground.

Within the scope of the study, it was determined how many times each water element/quality was used by the projects examined according to the years (Table 1). 2023 (24 projects) and 2024 (15 projects) stand out as the years with the highest number of projects on the list. It is observed that the water element is used more intensively and in various ways (such as rain garden, bioswale, water area protection) in recent projects. According to the obtained data, 2022 (15 projects) also has a relatively high number of projects. As we go to 2021 and earlier years, the number of projects decreases or remains limited to single examples (Figure 2).

Table 1. Distribution of the parks examined in the study according to years and water use

Year	Total project	Children's Playground	Rain garden	Protection of water area	Water Mirror	Bioswale	Ornamental pool	Fountain	Recreation	Waterside	Water curtain	Others
2024	15	1	4	3	1	0	0	1	2	3	0	0
2023	24	5	3	6	2	2	1	2	3	0	0	0
2022	15	2	0	0	3	3	2	1	2	1	1	0
2021	8	2	1	1	0	0	2	1	0	1	0	0
2020	4	0	0	1	0	2	0	0	0	1	0	0
2019	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2018	6	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0
2017	3	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0
2016	5	2	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
2015	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (Rain collector fittings)
2014	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2013	5	1	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0
2012	3	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1 (Pool)
2011	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2009	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2005	3	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1 (Pool)
2001	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

When the types and purposes of water elements used in the projects examined within the scope of the study are examined, the “Children’s playground + Water Element” components stand out as a frequently seen trend, especially in 2023 and 2024, to combine children’s playgrounds with water. This situation emphasizes the importance of water in terms of education, play and interaction with nature.

Rain garden and Bioswale: These two elements are encountered more frequently in the 2023 and 2024 data. It has been determined that these two elements are frequently used together. This shows that ecological approaches such as sustainable water management and rainwater harvesting have been adopted in projects in recent years (Biazin, Sterk, Temesgen, Abdulkedir, & Stroosnijder, 2012; Campisano et al., 2017; Doost, Alsuwaiyan, & Yaseen, 2024). When the Protection of Water Area component is examined, it is one of the most common applications in 2023 and 2024. This situation indicates that the protection of existing water resources and ecosystem-oriented design approaches have become widespread. In addition, it is an example that water areas can be protected and the aesthetic, ecological and functional features of these areas can be used together (DeFries, Hansen, Turner, Reid, & Liu, 2007).

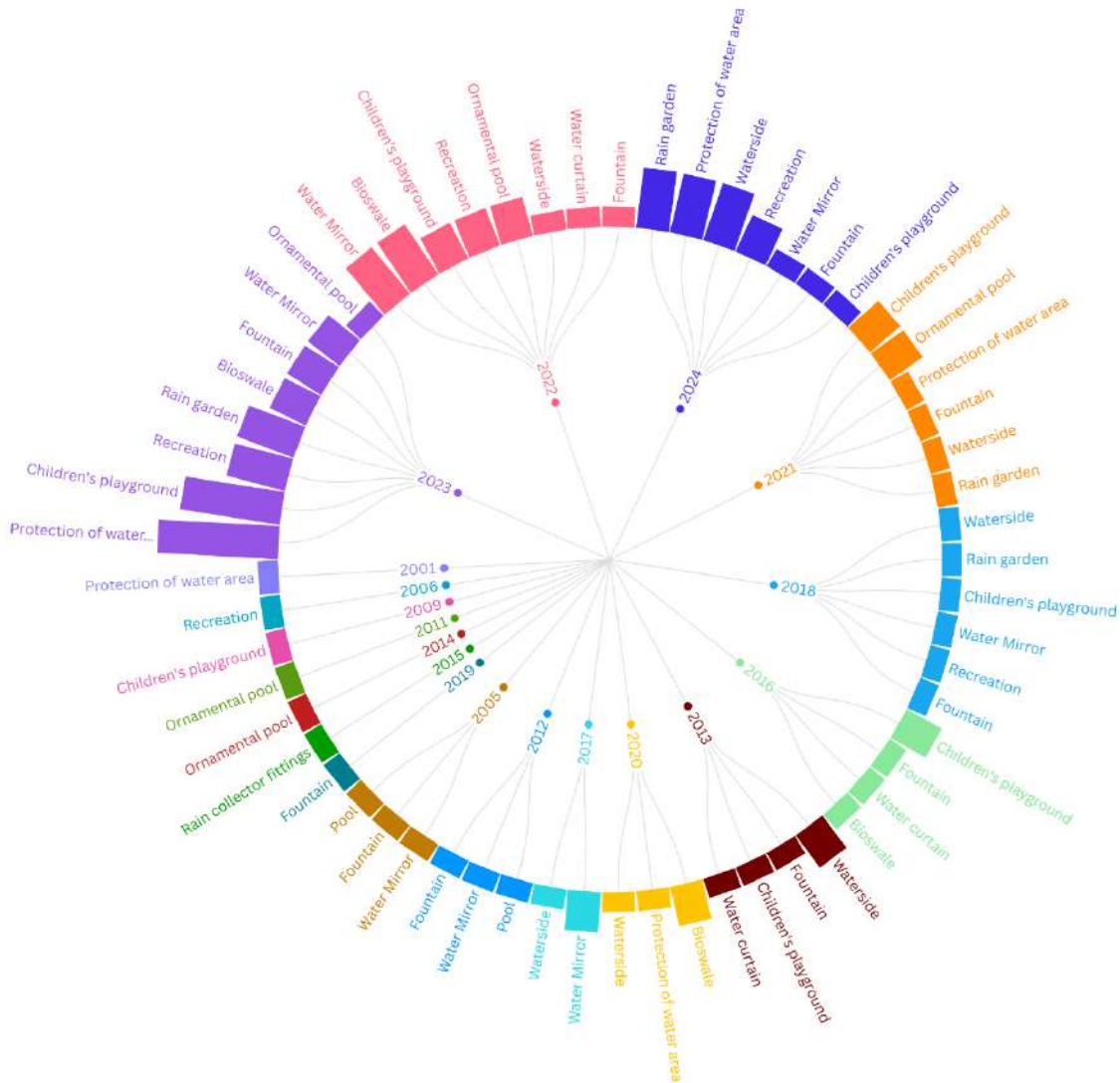


Figure 2. Usage scopes of water elements examined in the study

Water Mirror and Ornamental Pool components are preferred when visual and aesthetic value comes to the fore. It has been observed that they are generally used in urban areas and are used to make areas such as squares more attractive. These components are mostly observed in 2022, 2023 and 2024. However, it has been determined that the use of these components has existed in previous years, but has spread to larger areas.

The Fountain/Pool component was frequently used in 2023 and 2022; It was also seen that it was represented with single examples in years such as 2019, 2018, 2017. It generally has decorative and recreational purposes.

The use of Recreation and Coastal Arrangement (Waterside) components is designed for urban residents to access water, spend time by the water, socialize and interact with the landscape. It is noteworthy that the number of these areas has increased especially in the 2022-

2024 period. This can show that coastal areas have been frequently used for recreation from the past to the present. The Water Curtain component has been found to be a water element found in a small number of projects. It has generally been used to create visual appeal or to divide spaces and attract visitor attention.

Trends Over Time

In the last five years (2020-2024), it can be said that practices emphasizing ecological and sustainable management of water (e.g. rain garden, bioswale, water area protection) have increased significantly. This shows that designers and local governments are more focused on climate change, water scarcity and ecological awareness. In older projects (first decade of the 2000s), water elements were mostly decorative (ornamental pond, fountain, pool) or waterside, while from the mid-2010s onwards, ecological design components (rainwater collection, bioswale, rain garden) began to come to the fore.

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Urban parks stand out as socially, culturally, ecologically and aesthetically important spaces in the dense urban fabric. Designed by integrating green and blue infrastructure, these areas both meet the recreation and socialization needs of city dwellers and aim to protect natural resources and maintain ecological balance. Observations made in recent years show that water elements are increasingly used in various and versatile ways (e.g. rain garden, bioswale, water area protection) in urban parks. These applications not only provide decorative features, but also fulfill functions such as collecting rainwater, reducing flood risk, supporting biodiversity and providing users with close contact with nature. In this direction, combining children's playgrounds with water elements produces positive results in terms of both ecological awareness and user experience. The increasing importance of the "Water Area Protection" approach shows that awareness is rising for the protection and improvement of existing water ecosystems. Therefore, water elements are no longer just an aesthetic element in design, but a strategic component that integrates ecological, recreational and social dimensions. However, the following suggestions have been developed to increase the use of the water component in urban parks, but to ensure that this use is carried out ecologically without harming nature and users.

Sustainable water management practices such as rain gardens and bioswales should be expanded for ecological design. Protection and improvement issues should always be kept at the forefront. Restoration projects should be emphasized for the protection, rehabilitation and

continuation of ecological integrity of existing water resources. Education and awareness are very important for both sustainability and increasing the desired gains from that area. Therefore, information panels or interactive activities should be provided in parks to ensure that users understand the importance of water. Climate-compatible landscapes should be increased. For this purpose, the use of permeable surfaces together with plants that are suitable for local conditions and consume little water should be encouraged. Recreation and socialization should be evaluated with holistic approaches. Educational and recreational gains can be increased by designing children's playgrounds and water elements together. Thus, urban parks will continue to contribute to the formation of livable cities of the future by offering both ecological and social benefits.

REFERENCES

- Aydemir, B., Çetinkaya, G., Güngör, A., & Ömüriş, E. (2024). Understanding the visitor complaints about urban green spaces: a thematic investigation of online reviews on nation gardens in Istanbul, Türkiye. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 720. doi: 10.1057/s41599-024-03255-3
- Bazrafshan, M., Tabrizi, A. M., Bauer, N., & Kienast, F. (2021). Place attachment through interaction with urban parks: A cross-cultural study. *Urban Forestry & Urban Greening*, 61, 127103. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127103>
- Biazin, B., Sterk, G., Temesgen, M., Abdulkedir, A., & Stroosnijder, L. (2012). Rainwater harvesting and management in rainfed agricultural systems in sub-Saharan Africa – A review. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 47-48, 139-151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.08.015>
- Bray, I., Reece, R., Sinnett, D., Martin, F., & Hayward, R. (2022). Exploring the role of exposure to green and blue spaces in preventing anxiety and depression among young people aged 14–24 years living in urban settings: A systematic review and conceptual framework. *Environmental Research*, 214, 114081. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114081>
- Burian, S. J., & Pomeroy, C. A. (2010). Urban Impacts on the Water Cycle and Potential Green Infrastructure Implications *Urban Ecosystem Ecology* (pp. 277-296).
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M. J., Friedler, E., DeBusk, K., . . . Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water Research*, 115, 195-209. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>
- Chiesura, A. (2004). The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and Urban Planning*, 68(1), 129-138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.003>
- Clarke, M., Cadaval, S., Wallace, C., Anderson, E., Egerer, M., Dinkins, L., & Platero, R. (2023). Factors that enhance or hinder social cohesion in urban greenspaces: A literature review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 84, 127936. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127936>
- DeFries, R., Hansen, A., Turner, B. L., Reid, R., & Liu, J. (2007). LAND USE CHANGE AROUND PROTECTED AREAS: MANAGEMENT TO BALANCE HUMAN NEEDS AND ECOLOGICAL FUNCTION. *Ecological Applications*, 17(4), 1031-1038. doi: <https://doi.org/10.1890/05-1111>

- Doost, Z. H., Alsuwaiyan, M., & Yaseen, Z. M. (2024). Runoff Management based Water Harvesting for Better Water Resources Sustainability: A Comprehensive Review. *Knowledge-Based Engineering and Sciences*, 5(1), 1-45. doi: 10.51526/kbes.2024.5.1.1-45
- Guneroglu, N., Bekar, M., & Kaya Sahin, E. (2019). Plant selection for roadside design: “the view of landscape architects”. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(33), 34430-34439. doi: 10.1007/s11356-019-06562-4
- Hanna, E., Bruno, D., & Comín, F. A. (2024). The ecosystem services supplied by urban green infrastructure depend on their naturalness, functionality and imperviousness. *Urban Ecosystems*, 27(1), 187-202. doi: 10.1007/s11252-023-01442-9
- Landezine. (2023). Playground. Retrieved 30.05.2023, 2023, from <https://landezine.com/?s=playground>
- Langie, K., Rybak-Niedziółka, K., & Hubáčiková, V. (2022). Principles of Designing Water Elements in Urban Public Spaces. *Sustainability*, 14(11). doi:10.3390/su14116877
- Peters, K., Elands, B., & Buijs, A. (2010). Social interactions in urban parks: Stimulating social cohesion? *Urban Forestry & Urban Greening*, 9(2), 93-100. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.11.003>
- Qi, J., Mazumdar, S., & Vasconcelos, A. C. (2024). Understanding the Relationship between Urban Public Space and Social Cohesion: A Systematic Review. *International Journal of Community Well-Being*, 7(2), 155-212. doi: 10.1007/s42413-024-00204-5
- Remme, R. P., Frumkin, H., Guerry, A. D., King, A. C., Mandel, L., Sarabu, C., . . . Daily, G. C. (2021). An ecosystem service perspective on urban nature, physical activity, and health. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(22), e2018472118. doi: 10.1073/pnas.2018472118
- Sundevall, E. P., & Jansson, M. (2020). Inclusive Parks across Ages: Multifunction and Urban Open Space Management for Children, Adolescents, and the Elderly. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(24). doi:10.3390/ijerph17249357
- Swyngedouw, E., Kallka, M., & Castro, E. (2002). Urban Water: A Political-Ecology Perspective. *Built Environment (1978-)*, 28(2), 124-137.
- Whalley, J. M. (1988). Water in the landscape. *Landscape and Urban Planning*, 16(1), 145-162. doi: [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(88\)90040-0](https://doi.org/10.1016/0169-2046(88)90040-0)

DİYARBAKIR KENT MERKEZİNİN ENGELSİZ PEYZAJ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Medine ÇELİK

Candidate PhD., Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Erzurum-Türkiye clkmedine21@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3734-0979

Mehmet Akif IRMAK

Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Erzurum-Türkiye mairmak@atauni.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8285-5341

ÖZET

Engellilerin erişebilirlik hakkı toplumların çağdaşlık düzeyini gösteren önemli bir ölçüttür. Kentlerin, engelli bireylerin yaşamını kolaylaştıracak şekilde düzenlenmesi, sosyal eşitlik ve insan hakları açısından temel bir gerekliliktir. Kentler, günümüzde insanların yoğun olarak yaşadığı temel yerleşim alanlarıdır ve engellilerin yaşam alanlarındaki en büyük zorluk, erişim sorunlarıdır. Küresel ölçekte, engelli nüfusunun önemli bir kısmı kentsel alanlarda yaşamaktadır, bu da kentlerin erişilebilirliğini sağlamak için engelli politikalarının önemini artırmaktadır. Bu çalışmada Diyarbakır kent merkezindeki engelli bireylerin yaşamını kolaylaştıracak erişilebilir tasarım yaklaşımı çerçevesinde değerlendirmek amaçlanmıştır. Diyarbakır kent merkezindeki önemli kent parkları, caddeler, tarihi alanlar (Otogar caddesi, Sur caddesi, Hz. Süleyman Cami, Gazi caddesi, Dağkapı meydanı, Kent meydanı, Cadde 75, Park 75) değerlendirilmiştir. Bu alanlarda erişilebilirliğin olduğu ve olmadığı alanlar fotoğraflanarak görsellerinin analizi Türkiye Cumhuriyeti tarafından hazırlanan Erişilebilirlik Kılavuzuna ait örneklerle yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda engellilerin kullanımına uygun tasarım uygulamalarının yapılmasının yanında birçok yerde de engellilerin kullanımı açısından zorluklar yaratacak eksiklikler olduğu belirlenmiştir. Kaldırımların üzerindeki hissedilebilir alanların eksikliği, ızgara yönlerinin yanlış olduğu, işaret levhalarının yüksekliklerinin standart ölçüde olmadığı, ağaçların kaldırım geçişlerini engellediği, rampaların ve kaldırım ölçülerinin hatalı olduğu saptanmıştır. Rastgele yapılan engelli alan tasarımları uzmanlar eşliğinde engelliler için evrensel standart kılavuzu kullanılarak çalışmalar sürdürülmelidir.

Anahtar kelime: Erişilebilir Kent, Engellilik, Engelsiz Peyzaj, Diyarbakır

EVALUATION OF DIYARBAKIR CITY CENTER IN TERMS OF OBSTACLED LANDSCAPE

Medine ÇELİK

Candidate PhD., Ataturk University, Institute of Natural and Applied Sciences Department of
Landscape Architecture, Erzurum-Türkiye clkmedine21@gmail.com, ORCID: 0000-0002-
3734-0979

Mehmet Akif IRMAK

Prof. Dr., Atatürk University, Faculty of Architecture and Design, Department of Landscape
Architecture, Erzurum-Türkiye mairmak@atauni.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8285-5341

ABSTRACT

The right of access of disabled people is an important criterion that shows the modernity of societies. Organizing cities to facilitate the lives of disabled people is a fundamental necessity in terms of social freedom and human rights. Cities are the main residential areas where people live densely today, and the biggest difficulties in the living spaces of disabled people are access problems. On a global scale, a significant portion of the disabled population lives in urban areas, which increases the importance of disability policies to ensure the accessibility of cities. In this study, it is aimed to evaluate within the framework of an accessible design approach that will facilitate the lives of disabled individuals in Diyarbakır city center. Important city parks, streets and historical areas in Diyarbakır city center (Bus Terminal Street, Sur Street, Hz. Süleyman Mosque, Gazi Street, Dağkapı Square, City Square, Street 75, Park 75) were evaluated. In these areas, areas with and without accessibility were photographed and the images were analyzed with examples from the Accessibility Guide prepared by the Republic of Turkey. As a result of the examinations, it was determined that in addition to the design applications suitable for the use of disabled people, there are deficiencies in many places that will create difficulties for the use of disabled people. It has been determined that there is a lack of tactile areas on the pavements, the grid directions are wrong, the heights of the signboards are not standard, trees block the pavement passages, and the ramps and pavement dimensions are incorrect. Randomly designed disabled area designs should be carried out using the universal standard guide for disabled people, accompanied by experts.

Key words: Accessible City, Disability, Barrier-Free Landscape, Diyarbakır

GİRİŞ

Zihinsel fiziksel veya sosyal yeteneklerin kaybı engellilik olarak bilinmektedir. Çeşitli sebeplerden dolayı farklı oranlarda, yaşam içindeki sürece uyum sağlayamama, günlük ihtiyaçlarını karşılayamama olarak tanımlanmaktadır (Tuğluer ve Ekren, 2022).

Erişebilirlik sadece bir yerin fiziksel olarak ulaşılabilir olması değil, aynı zamanda insanların günlük yaşamlarını kolaylaştıracak şekilde düzenlenmiş bir ortamı ifade etmektedir. Bu, toplumun tüm bireylerinin eşit haklarla hizmetlerden yararlanabilmesini sağlamak adına önemli bir kavramdır (Keleş, 1998).

Erişebilirlik standartları oluşturma girişimi ilk kez 1961 yılında ABD’de Bedensel Engelliler ve Çevreleri adlı Stockholm konferansı sonrasında ortaya çıkmıştır (Şat ve Göver, 2017).

Engelliler dışında hareket kısıtlılığı olan gruplar şu şekilde sıralanabilir (TSE, 2011);

- Yaşlılar ve çocuklar
- Çok uzun ya da çok kısa boylular
- Aşırı kilolular
- Geçici engelliler

Kentlerdeki çevre şartları her geçen gün değişiklik gösterip, yaşam standartları zorlaştıkça erişilebilirlik standartları da buna paralel olarak gelişmiştir (Doğan,2017).

Erişebilirlik, yalnızca bir kişinin bir yere veya hizmete ulaşabilmesiyle sınırlı değildir; aynı zamanda bu ulaşımın bağımsız, güvenli ve kesintisiz olması gerektiğini ifade eder. Buradaki "bağımsızlık" ifadesi, bireylerin yardım almadan, kendi ihtiyaçlarına göre hareket edebileceği bir ortamın varlığına işaret eder. Erişilebilirlik, sosyal hayatın her alanında eşit fırsatlar yaratmak amacıyla tasarlanmalıdır. Bu da demektir ki, bir toplumun üyeleri, yaşadıkları yerin sunduğu tüm imkanlardan eşit şekilde faydalanabilmeli ve bu hizmetlere erişim engelleri olmamalıdır (Çiftçi vd., 2017: Akın ve Önal, 2016).

Erişilebilirlik herkesin, istediği her yere ve her hizmete, bağımsız ve güvenli olarak ulaşabilmesi ve bunları kullanabilmesidir (Erişilebilirlik Kılavuzu, 2020).

Tüm insanlar her türü ayrımcılıktan uzak ve bireysel farklılıklarının toplumla bütünleşmeye engel olmadığı bir ortamda yaşama hakkına sahiptir. Bu bağlamda toplumların erişebilirlik düzeyi aynı zamanda bir gelişmişlik göstergesidir. Hedefler engelleri aşmak değil ortadan kaldırmak yönünde olmalıdır.

Rekreasyon alanlarında yapılan tasarımların erişilebilirlik ağı açısından detaylı bir şekilde yürütülmelidir. Erişilebilirlik herkesin her alanda eşit şekilde yararlanabilmesi için büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken birçok faktör vardır. Bu faktörler; erişilebilirlik zincirinin sağlanması, yönetmelik ve standartların dikkate alınması, doğru mesleki disiplinlerle ortak çalışmaktır (Irmak ve Kırmızıbayrak, 2024).

Teknoloji ve fiziksel altyapı iyileştirmeleri, engellilerin topluma katılımını teşvik eder ve onları dışlanmışlık hissinden kurtarır. Özellikle dijital araçlar, erişilebilirlik sağlayan yazılımlar, iletişimi, cihazları ve altyapıdaki yenilikler, engelli bireylerin yaşamlarını kolaylaştırmak için büyük bir fırsat sunmaktadır (Bilge ve Irmak, 2021).

Toplumların erişebilirlik düzeyinin, o toplumun gelişmişlik düzeyinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Erişilebilirlik, yalnızca fiziksel mekânlar için değil, aynı zamanda toplumsal hizmetlere, fırsatlara ve kaynaklara erişim açısından da önemli bir belirleyicidir. Bu nedenle, bir toplum ne kadar erişilebilir olursa, o toplumun gelişmişliği ve modernleşmesi de o kadar ileri seviyededir. Erişebilirlik, sadece engelli bireyler için değil, toplumun tüm üyeleri için toplumsal adaletin ve eşitliğin sağlanmasında temel bir unsur olarak kabul edilir (Berkün, 2019).

Kentlerde kısıtlı alanlar yaratan erişilebilirliği engelleyen faktörlerden ön planda olanlar şu şekilde sıralanabilir (Odabaş Uslu ve Güneş, 2017);

- Bozuk ya da kaygan yüzeyler
- Çok yüksek ya da çok dar kaldırımlar
- Ölçüleri uygun olmayan rampalar
- İşaret ve uyarıcı levhaların eksikliği, aydınlatılmamış sokaklar
- Kullanıma uygun olmayan kent mobilyaları
- Sesli ve görsel uyarıcıların olmaması nedeniyle hizmet edemeyen ulaşım sistem ve Araçları

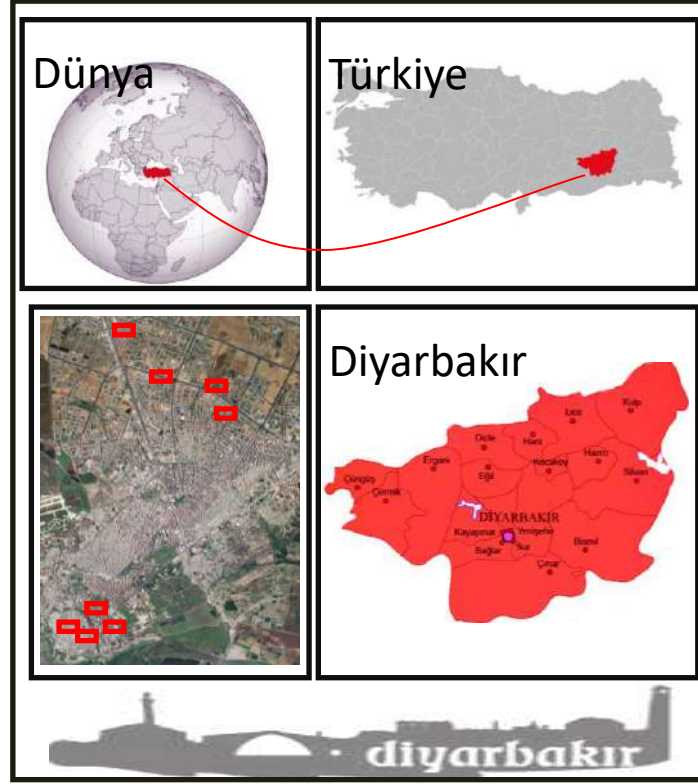
Ülkemizde engelli bireylerin çoğunluğu, kentlerin yapıları çevresinde engeller nedeniyle eğitim almak için okula ve hatta bir eğitici kursa dahi gidememektedir (Soykut Sarıca ve Yüksel, 2012).

Bu çalışmada Diyarbakır kent merkezindeki engelli bireylerin yaşamını kolaylaştıracak erişilebilir tasarım yaklaşımı çerçevesinde değerlendirmek amaçlanmıştır.

MATERYAL – YÖNTEM

Materyal

Çalışmanın ana materyalini Diyarbakır Surları çevresi, kent merkezindeki caddeler ve kentteki parklar (Otogar caddesi, Sur caddesi, Hz. Süleyman Cami, Gazi caddesi, Dağkapı meydanı, Kent meydanı, Cadde 75, Park 75) oluşturmaktadır. Diyarbakır kenti, sönmüş volkanik Karacadağ' dan Dicle'ye uzanan geniş bazalt platosunun doğu kenarında kurulmuştur. Kent, tarihin her döneminde büyük medeniyetlerin, kültürel ve ekonomik hareketlerin merkezi olmuştur (Yiğit A, 2002). Diyarbakır ilinde kırsal nüfus (456.660 kişi) %27 ve şehirselleşmiş nüfus (1243.241) %73'tür. Kırsal nüfus geniş tarım alanları ve önemli hayvancılık potansiyeline sahip alanlarda yoğunlaşmıştır (TÜİK, 2017). Çalışma alanının konum haritası Görsel 1' de verilmiştir.



Görsel 1. Çalışma alanı konum haritası

Yöntem

Bu çalışma kapsamında Diyarbakır Surları çevresi ve kent merkezindeki caddeler (otogar caddesi, gazi caddesi ve 75. Cadde) ve kentteki parkları (75 park ve Kent Meydanı) Erişilebilirlik mevzuatına göre incelenmiştir. Erişilebilirlik Mevzuatına uygun alanlar ve uygun olmayan alanlar belirlenmiştir. Sahadan çekilen fotoğrafların yanında içerik olarak Türkiye Cumhuriyeti Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı tarafından hazırlanan Erişilebilirlik Kılavuzuna (2020) ait örneklerle açıklanmıştır.

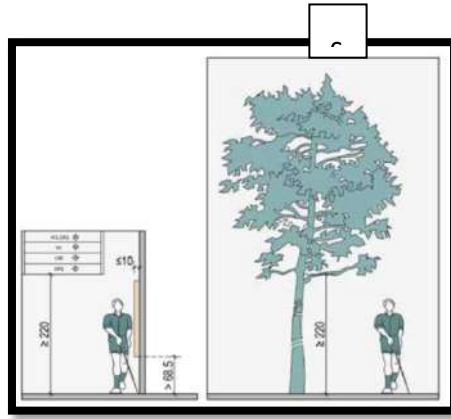
BULGULAR

İncelemesi yapılan alanlar; Otogar caddesi, Sur caddesi, Hz. Süleyman Cami, Gazi caddesi, Dağkapı meydanı, Kent meydanı, Cadde 75, Park 75

Otogar Caddesi erişilebilirlik açısından değerlendirildiğinde;

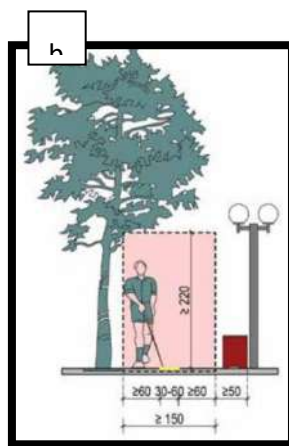
- Tüm açık ve kapalı dolaşım alanlarında engelsiz olarak sağlanması gereken alanın düzeydeki net (temiz) yüksekliği en az 220 cm olmalıdır. Bu alanın içinde herhangi bir ağaç dalı, tabela, çıkıntı oluşturacak bir donanım gibi engeller bulunmamalıdır.
- Yürüyüş güzergâhında bulunan duvarlarda yerden 68 cm ile 220 cm arası yüksekliklerde duvara monte edilen nesnelere, duvardan en fazla 10 cm çıkıntı yapılabilir. Görme engellilerin buradaki çıkıntıyı beyaz bastonla fark edebilmesi için, çıkıntının yerden yüksekliği 68.5 cm' den az olmalıdır (Görsel 2).

a



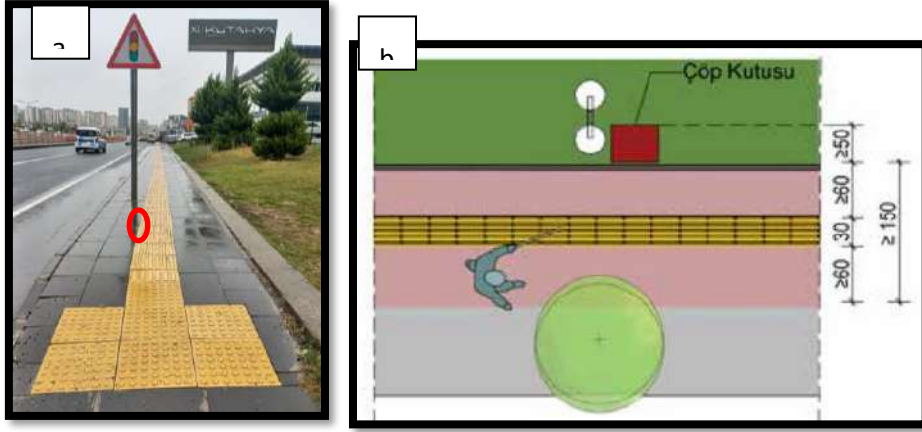
Görsel 2. Otogar Caddesi Dikeyde Engelsiz Alan Ölçüleri (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020), c; Medine ÇELİK)

- Kılavuz izin genişliğinin 30 cm - 60 cm arasında olması gerekmektedir. Bu alanlar yatayda bozulmuş döşeme, çukur veya tümsek, çöp kutusu, tabela, ağaç, pano, direk, taşıt engelleyici, tezgah, araba, büfe, duvar, dolap gibi; dikeyde tabela, ağaç dalı gibi engellerden arındırılmış olmalıdır (Görsel 3).



Görsel 3. Otogar Caddesi Açık Alanda Kılavuz Yüzey Uygulaması (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020), c; Medine ÇELİK)

- Hissedilebilir yüzeyin 60 cm sağında ve solunda tabela olmamalıdır (Görsel 4).



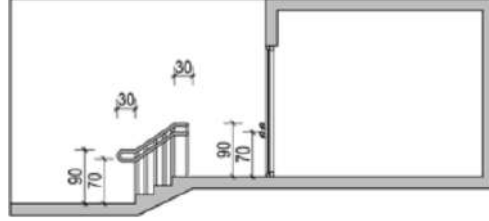
Görsel 4. Otogar Caddesi Açık Alanda Kılavuz Yüzey Uygulaması (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

- Yaya geçidinde üç yöne eğimli rampa düzenlendiği durumlarda rampa genişliği yaya geçidi genişliğinde olmalı ve kaldırım boyuncu uygulanmış HYYİ ile bağlantısı sağlanmalıdır (Görsel 5).



Görsel 5. Otogar Caddesi Yaya Geçidinde Üç Yöne Eğimli Rampa (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020), c; Medine ÇELİK)

- Rampa ve sahanlıkların kenarlarında koruma bulunmuyorsa en az 5 cm yüksekliğinde koruma bordürü yapılmalıdır.
- Rampaların net (temiz) genişliği, koruma bordürü ve tırbazan gibi üzerinde bulunan tüm donanımlar hariç en az 100 cm olmalıdır (Görsel 6).



Görsel 6. Otogar Caddesi Rampa Örneği (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020), c; Medine ÇELİK)

Sur Caddesi erişilebilirlik açısından değerlendirildiğinde;

- Kaldırım üzerinde insanların ve engellilerin geçişini engelleyen panolar olmamalıdır.
- Hissedilebilir yüzey kanalizasyon kapaklarıyla kesilmemelidir.
- Kaldırım ölçüleri uygun olmasına rağmen kafe sandalyeleri engelli geçişini engellemektedir (Görsel 7).



Görsel 7. Sur Caddesi Kaldırımında Kullanılan Hissedilebilir Yüzeylerin Kullanımı (Ft: Medine ÇELİK)

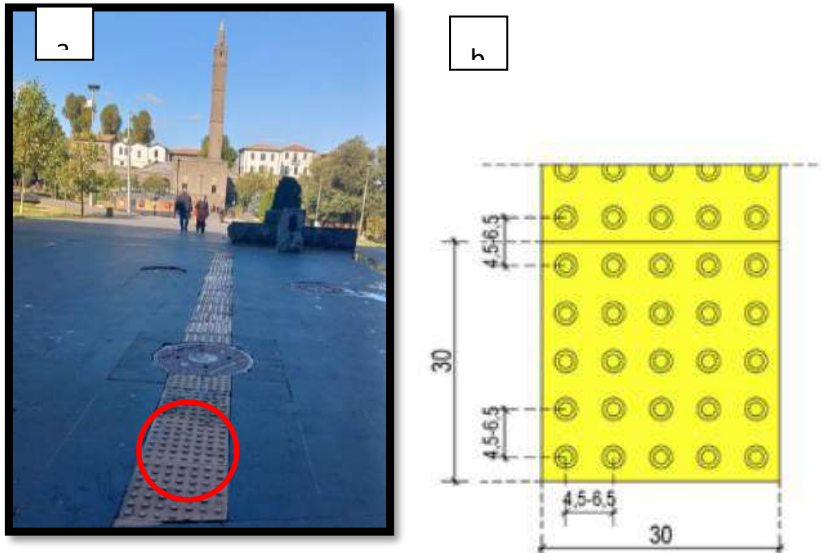
- Kullanım kılavuzuna uygun kaldırım ölçüleri ile yapılmıştır. Kılavuz ve uyarıcı yüzeyin her iki yanında, yatayda en az 60'ar cm lik genişlikte, dikeyde en az 220 cm yükseklikte baş kurtarma mesafesine sahip engelsiz yürüyüş alanı düzenlenmiştir (Görsel 8).



Görsel 8. Sur Caddesi Açık Alanda Kılavuz Yüzey Uygulaması (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

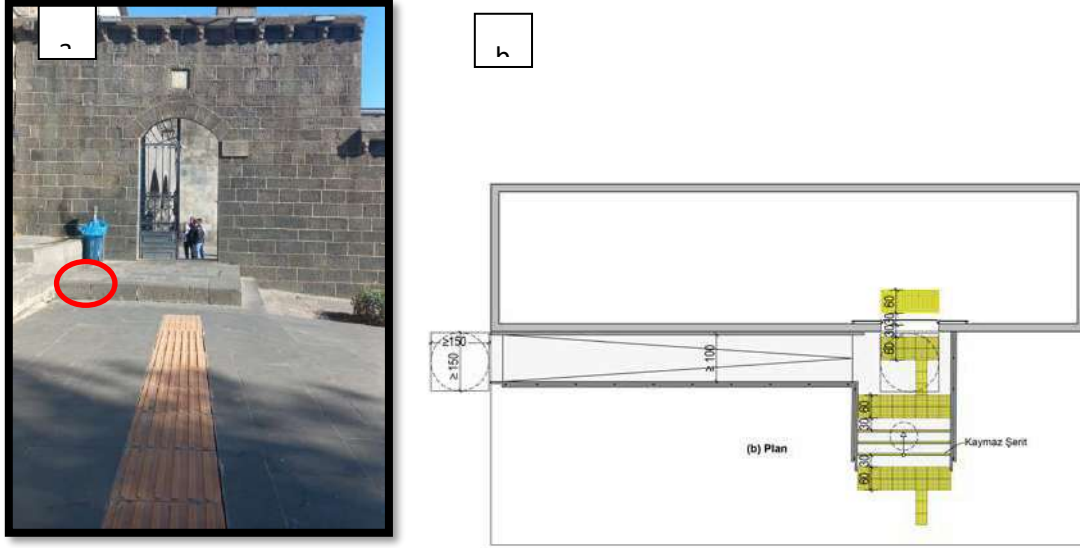
Hz. Süleyman Cami erişilebilirlik açısından değerlendirildiğinde;

- Kullanım kılavuzuna uygun yapılmıştır. Uyarıcı yüzeylerin uyarıcı profillerinin 4 mm - 5 mm çıkıntı yapması gerekmektedir (Görsel 9).



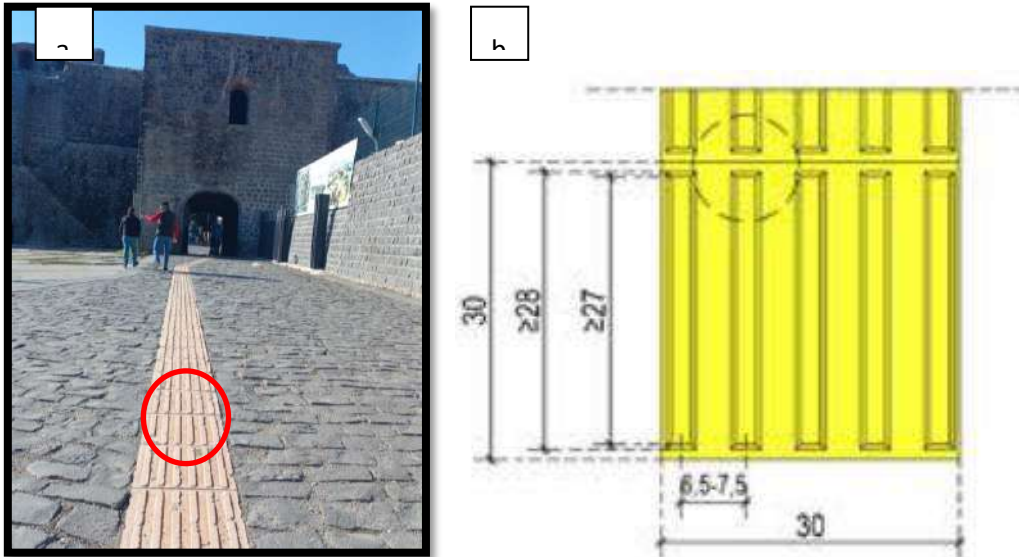
Görsel 9. Hz. Süleyman Cami Uyarıcı Yüzey (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

- Cami girişinde 6 mm' nin üstünde rampa gerekli. Rampaların net (temiz) genişliği, koruma bordürü ve tırabzan gibi üzerinde bulunan tüm donanımlar hariç en az 100 cm olmalıdır (Görsel 10).



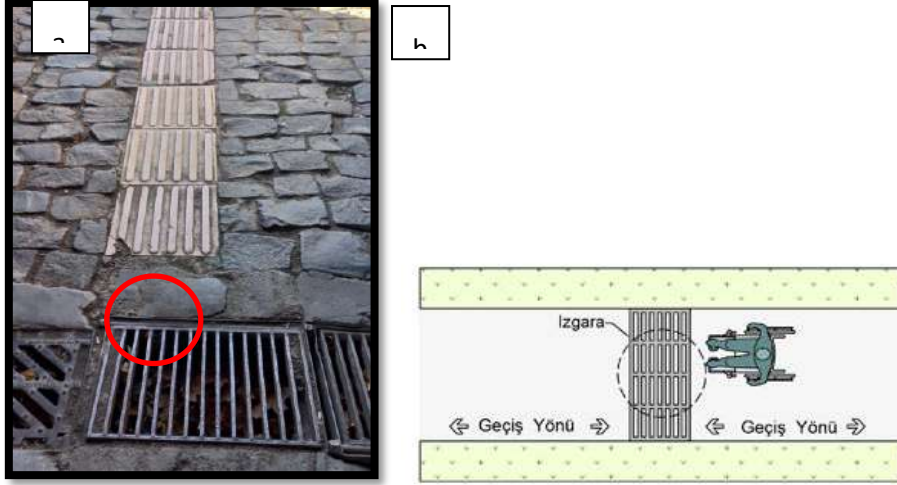
Görsel 10. Hz. Süleyman Cami Bina Girişi Düzenlemesi (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

- Kullanım kılavuzuna uygun yapılmıştır. Kılavuz yüzey genişliğinin 30 cm - 60 cm arasında olması gerekmektedir. Kılavuz çıkıntılarının 4 mm-5 mm çıkıntı yapması gerekmektedir (Görsel 11).



Görsel 11. Hz. Süleyman Cami Kılavuz Yüzey (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

- Drenaj ızgaralarının aralıkları yürüyüş yoluna paralel olduğunda tekerlekli sandalye, bebek arabası gibi araç gereçlerin tekerleğinin ızgara aralığına sıkışıp kalmasına neden olmaktadır. Iızgara aralıklarındaki boşluklar ise en fazla 13 mm olmalıdır (Görsel 12).



Görsel 12. Hz. Süleyman Cam Izgara Aralıkları(Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

Gazi Caddesi erişilebilirlik açısından değerlendirildiğinde;

- Hissedilebilir yüzeyin sol tarafından 60 cm sağ tarafından 60 cm olmalı ve engel barındırmamalıdır.
- 2.20 m'lik kuralına uymayan tabela konmuştur.
- Hissedilebilir yüzey ağaç gövdesinden uzaklaştırılmalıdır (Görsel 13).



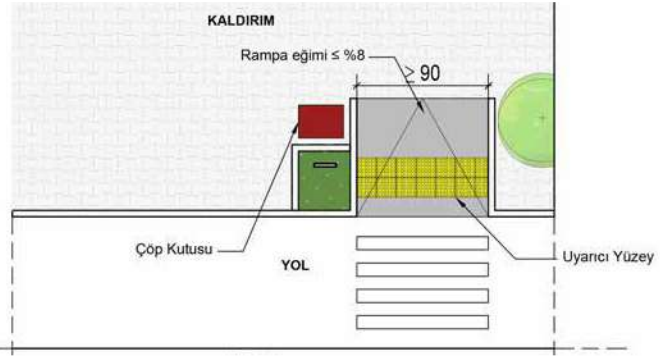
Görsel 13. Gazi Caddesi Kaldırımında kullanılan hissedilebilir yüzeylerin kullanımı

Dağkapı Meydanı erişilebilirlik açısından değerlendirildiğinde;

- Hissedilebilir yüzeylerde mümkün olan en kısa güzergâh seçilmeli ve aynı malzeme çeşidi ile süreklilik sağlanmalıdır (Görsel 14).

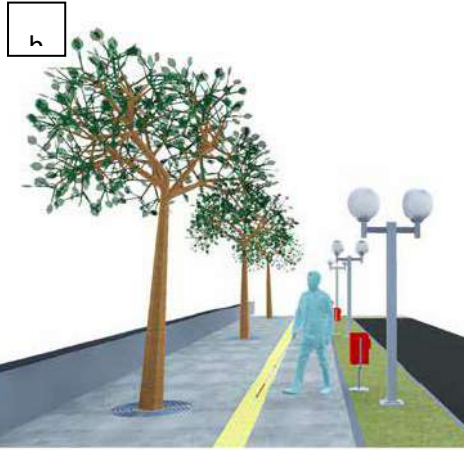


h



Görsel 14. Dağkapı Meydanı Tek Yöne Eğimli Rampa (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

- Kullanım kılavuzuna uygun kaldırım yapılmıştır. Kılavuz ve uyarıcı yüzeyin her iki yanında, yatayda en az 60'ar cm lik genişlikte, dikeyde en az 220 cm yükseklikte baş kurtarma mesafesine sahiptir. Engelden arındırılmış yürüyüş alanı düzenlenmiştir (Görsel 15).



Görsel 15. Dağkapı Meydanı Açık Alanda Kılavuz Yüzey Uygulaması (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

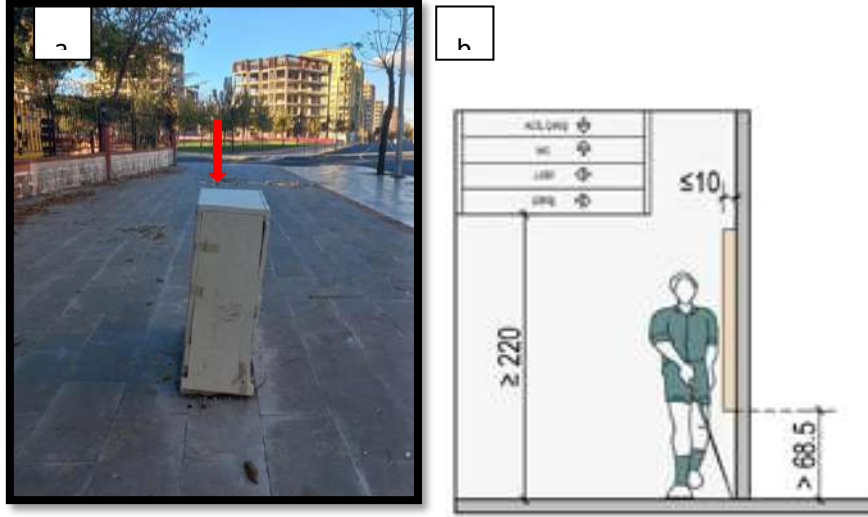
Kent Meydanı erişilebilirlik açısından değerlendirildiğinde;

- Kullanım kılavuzuna uygun yol geçişleri sağlanmıştır. Kılavuz ve uyarıcı yüzeyin her iki yanında, yatayda en az 60'ar cm lik genişlikte, dikeyde en az 220 cm yükseklikte baş kurtarma mesafesine sahiptir. Engelden arındırılmış yürüyüş alanı düzenlenmiştir (Görsel 16).



Görsel 16. Kent Meydanı Açık Alanda Kılavuz Yüzey Uygulaması (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

- Kaldırım üzerinde geçişi engelleyecek elektrik kutuları bulunmamalıdır (Görsel 17).



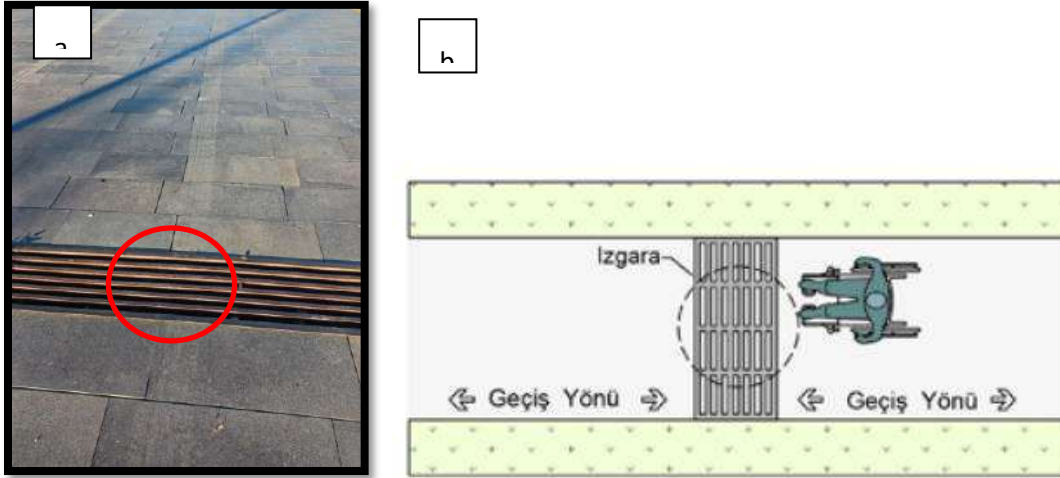
Görsel 17. Kent Meydanı Dikeyde Engelsiz Alan Ölçüleri (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

- Tüm açık ve kapalı dolaşım alanlarında engelsiz olarak sağlanması gereken alanın düşeydeki net (temiz) yüksekliği en az 220 cm olmalıdır (Görsel 18).



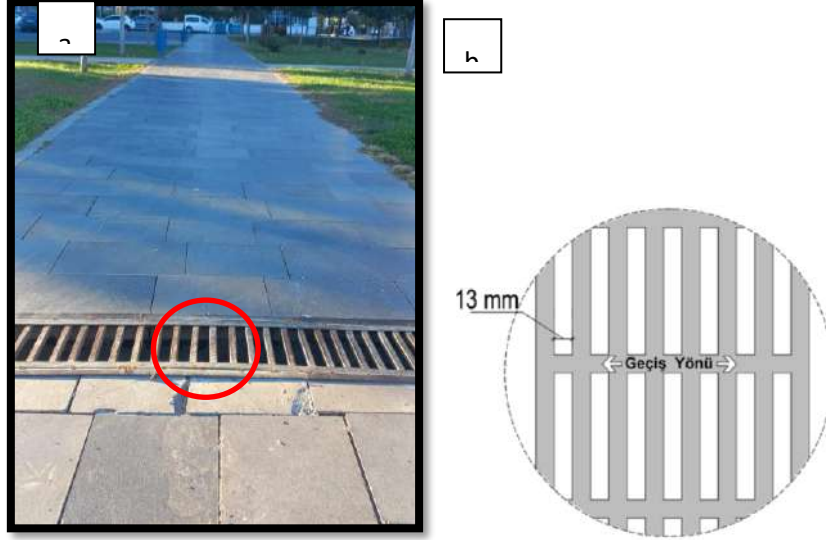
Görsel 18. Kent Meydanı Dikeyde Engelsiz Alan Ölçüleri (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

- Izgara aralıkları geçiş yönüne paralel yapılmıştır. Kullanım kılavuzuna uygun drenaj ızgarası yapılmıştır (Görsel 19).



Görsel 19. Kent Meydanı Izgara Aralıkları (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

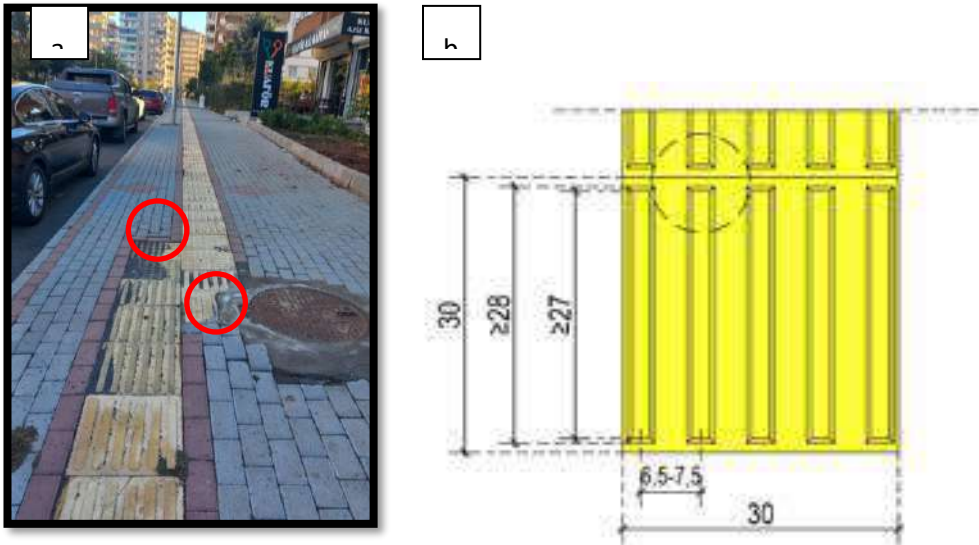
- Izgaranın yönü, geçiş yönüne dik düzenlenmelidir. Izgara aralıklarındaki boşluklar ise en fazla 13 mm olmalıdır (Görsel 20).



Görsel 20. Kent Meydanı Izgara Aralıkları (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

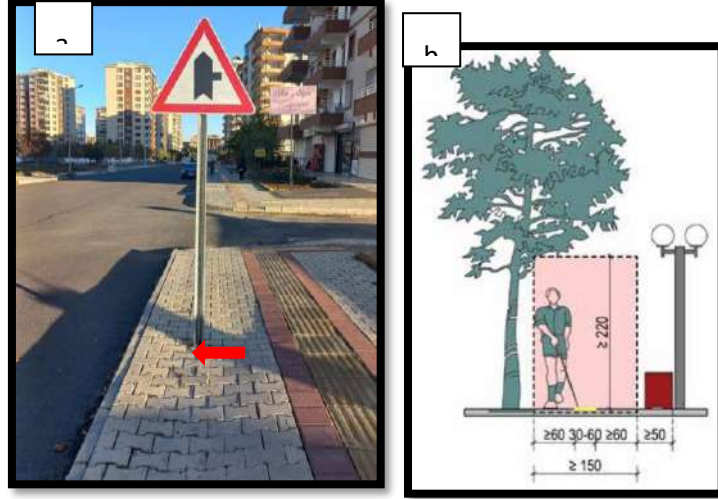
Cadde 75 erişilebilirlik açısından değerlendirildiğinde;

- Hissedilebilir yüzeyler birbirini takip etmek zorundadır. Kılavuz yüzey genişliğinin 30 cm - 60 cm arasında olması gerekmektedir. Kılavuz çıkıntılarının 4 mm-5 mm çıkıntı yapması gerekmektedir (Görsel 21).



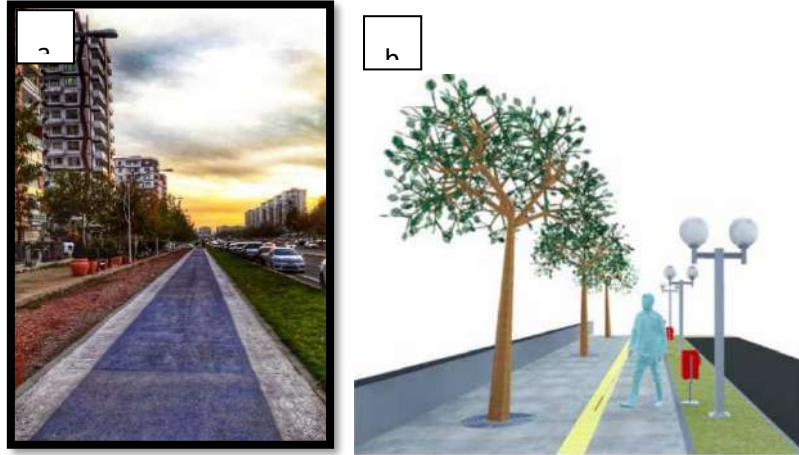
Görsel 21. Cadde 75 Kılavuz Yüzeyi (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

- Kaldırımın 60 cm sağında 60 cm solunda yön ve tabelalar yer almamalıdır (Görsel 22).



Görsel 22. Cadde 75 Açık Alanda Kılavuz Yüzey Uygulaması (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

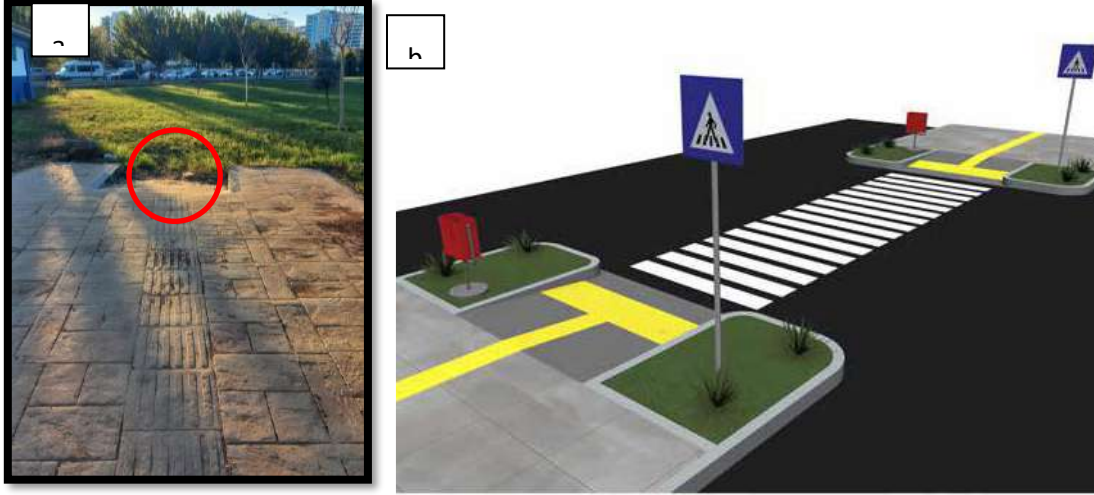
- Kullanım kılavuzuna uygun yürüyüş yolları. Kılavuz ve uyarıcı yüzeyin her iki yanında, yatayda en az 60'ar cm lik genişlikte, dikeyde en az 220 cm yükseklikte baş kurtarma mesafesine sahiptir. Engelden arındırılmış yürüyüş alanı düzenlenmiştir (Görsel 23).



Görsel 23. Cadde 75 Açık Alanda Kılavuz Yüzey Uygulaması (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

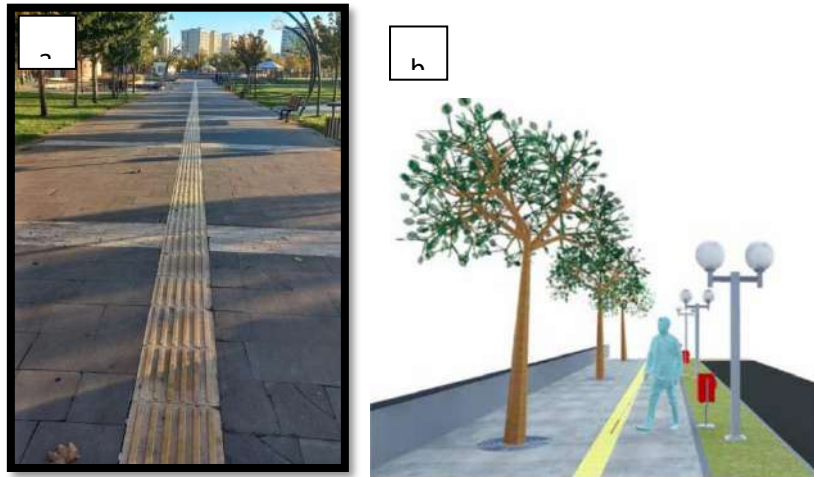
Park 75 erişilebilirlik açısından değerlendirildiğinde;

- Çim yüzeyle biten hatalı kaldırım rampa kullanımı (Görsel 24).



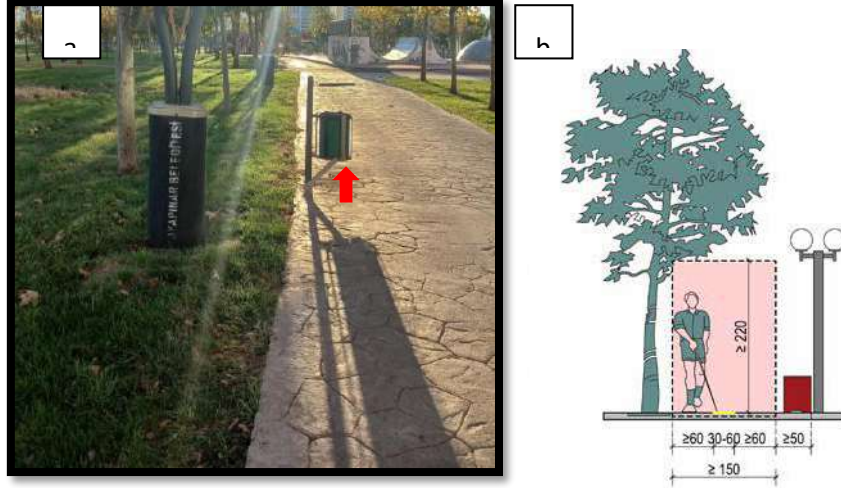
Görsel 24. Park 75 Tek Yöne Eğimli Rampa (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

- Kullanım kılavuzuna uygun kaldırım kullanımı. Kılavuz ve uyarıcı yüzeyin her iki yanında, yatayda en az 60'ar cm lik genişlikte, dikeyde en az 220 cm yükseklikte baş kurtarma mesafesine sahiptir. Engelden arındırılmış yürüyüş alanı düzenlenmiştir (Görsel 25).



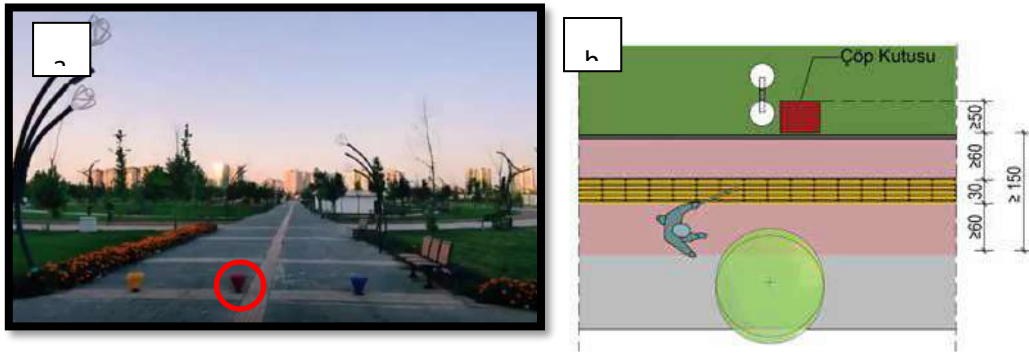
Görsel 25. Park 75 Açık Alanda Kılavuz Yüzey Uygulaması (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

- Çöp kutusu ölçüleri engel aşımına uygundur. En az 60'ar cm lik genişlikte, dikeyde en az 220 cm yükseklikte baş kurtarma mesafesine sahip engelsiz yürüyüş alanı düzenlenmiştir (Görsel 26).



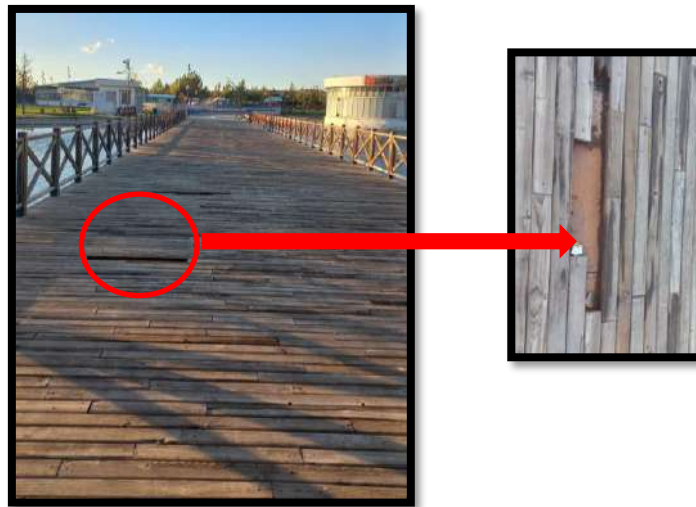
Görsel 26. Park 75 Açık Alanda Kılavuz Yüzey Uygulaması (Ft: a; Medine ÇELİK, b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

- Hissedilebilir yüzey yanında erişim kısıtlanmamalıdır (Görsel 27).



Görsel 27. Park 75 Açık Alanda Kılavuz Yüzey Uygulaması (Ft: b:Erişilebilirlik Kılavuzu, (2020))

- Erişimi sağlayamayan ahşap zemin hatalı kullanımı (Görsel 28).



Görsel 28. Ahşap köprü engelsiz olmayan yüzeylerin kullanımı

TARTIŞMA VE SONUÇ

Diyarbakır kent merkezinde incelemesi yapılan alanlar; Otogar caddesi, Sur caddesi, Hz. Süleyman Cami, Gazi caddesi, Dağkapı meydanı, Kent meydanı, Cadde 75, Park 75’ te engellilerin kullanımına uygun tasarım uygulamalarının yapılmasının yanında birçok yerde de engellilerin kullanımı açısından zorluklar yaratacak eksiklikler olduğu belirlenmiştir.

Otogar caddesindeki kaldırımlarda düşeyde net yükseklik ölçüsü hatalı olup ağaç dalları gibi engeller bulunmaktadır. Kaldırımlarda hissedilebilir yüzeylerin üzerini tabela, otobüs durağı, elektrik direği gibi nesnelere kesmektedir. Kaldırımların rampa genişliği normal olup hissedilebilir yüzeylerin devam ettiği ve bazı noktalarda da hissedilebilir yüzeylerin kesildiği görülmüştür. Rampaların tırabzan ve bordürlerinin eksik olduğu belirlenmiştir.

Sur Caddesindeki kaldırım ölçüleri uygun olmasına rağmen kanalizasyon kapakları, panolar ve kafe sandalyeleri hissedilebilir yüzeyleri keserek engelli geçişini engellemektedir. Bazı alanlarda kullanım kılavuzuna uygun kaldırım ölçüleri ile yapılmıştır.

Hz. Süleyman Camindeki alanlarda uyarıcı yüzey kullanımlarının hatasız olduğu belirlenmiştir. Cami girişinde rampanın eksik olduğu tespit edilmiştir. Alan içinde hissedilebilir yüzeylerin kullanım kılavuzuna uygun şekilde yapıldığı görülmüştür. Drenaj ızgara aralıklarının yürüyüş yoluna paralel olmadığı tekerlekli sandalye, bebek arabası gibi araç gereçlerin tekerleğinin ızgara aralığına sıkışıp kalmasına neden olabileceği görülmüştür.

Gazi Caddesindeki kaldırımların kullanım kılavuzuna uygun yapılmadığı ve hissedilebilir yüzeyler üzerinde engel barındığı görülmüştür.

Dağkapı Meydanında kullanım kılavuzuna uygun yatayda en az 60’ar cm lik genişlikte, dikeyde en az 220 cm yükseklikte baş kurtarma mesafesine sahip kaldırımların olduğu tespit edilmiştir.

Kent Meydanındaki bazı alanlarda kullanım kılavuzuna uygun yol geçişleri sağlanmıştır. Bazı alanlarında da kaldırım üzerinde geçiş engelleyecek panolar ve ağaç dalları yer almaktadır. Bazı alanlarda Drenaj ızgaraları kullanım kılavuzuna uygun geçiş yönüne paralel yapılmıştır. Bazı alanlarında da drenaj ızgara aralıklarının yürüyüş yoluna paralel olmadığı tekerlekli sandalye, bebek arabası gibi araç gereçlerin tekerleğinin ızgara aralığına sıkışıp kalmasına neden olabileceği görülmüştür.

Cadde 75’ te kaldırımlardaki hissedilebilir yüzeylerin birbirini takip etmeyip yer yer bozulmaların olduğu görülmüştür. Kaldırım ölçülerinin kullanım kılavuzuna uygun olmadığı engelli geçişini engelleyecek tabelaların olduğu ve düşeydeki net ölçülere uygun tabelaların kullanılmadığı belirlenmiştir. Bazı alanlarında da kullanım kılavuzuna uygun yürüyüş yollarının ve kaldırımlarının olduğu tespit edilmiştir.

Park 75’ te kullanım kılavuzuna uygun olmayan çim yüzeyle biten hissedilebilir yüzeylere sahip kaldırımlarının olduğu görülmüştür. Parkın bazı alanlarında da kullanım kılavuzuna uygun yatayda en az 60’ar cm lik genişlikte, dikeyde en az 220 cm yükseklikte baş kurtarma

mesafesine sahip yollarının olduğu belirlenmiştir. Park içinde kullanılan çöp kutularının kullanımını da engel aşımına uygun boyuttur.

Kentler doku, form, yapı açısından birçok farklı özelliklere sahiptir. Her kentin kendine ait özgünlüğü var olmasıyla alan kullanımları da farklılık yaratarak kullanıcılar için çeşitli olanaklar sunmaktadır (Atabeyoğlu ve Bilge, 2023).

Engelli bireylerin eğitimlerine yönelik yapılan çabaların, toplumsal sorumluluk anlamında önemli bir farkındalık yaratmaktadır. Toplumda daha eşit ve erişilebilir bir yaşam sürdürebilmeleri için çeşitli kentsel ve mimari düzenlemelerin gerekliliğine önem verilmelidir. Özellikle ulaşımında karşılaşılan zorluklar, yollar ve kaldırımların engelli bireyler için uygun olmaması, engellilerin hakları ve erişim sorunlarını meydana getirmektedir. Şehirlerin tüm bireyler için erişilebilir, sürdürülebilir ve uyumlu hale getirilmesini amaçlayan bir yaklaşım içinde tasarımlar oluşturulmalıdır. Bu ilke, engelli bireylerin de eşit haklara sahip olduğu bir şehir yaşamını teşvik etmeyi hedefleyebilir (Bekçi ve Sipahi, 2022).

Erişilebilirlik zincirinde ilgili düzenleme ve standartların sağlanması kullanım kılavuzuna uygunlukla tasarım ve planlama aşamasında bu alanda uzmanlaşmış kişilerle çalışmaların yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Akın, G., Önal, S., 2016. Kentsel Alanların Tasarımında Ergonomik Sorunlar. AÜDTCF Antropoloji Dergisi, 31, ss.51-60.
- Atabeyoğlu, Ö., Bilge, G., 2023. Natural approach to urban construct: From leaf to urban. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 38 (1), 127-141.
- Berkün, S., 2019. Toplumsal Yaşama Tam Katılım İçin Erişilebilir Kentler: Zonguldak Örneği. Uluslararası Sosyal Bilimler Akademi Araştırmalar Dergisi, 43-52.
- Bekçi, B., Sipahi, M., 2022. Mekânsal erişilebilirliğin yaya bölgeleri ölçeğinde irdelenmesi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 38:4, 2155-2165.
- Bilge, C., Irmak, M.A., 2021. Sivas Kent Merkezinde Yaya Yollarının Fiziksel Engelli Kullanımları Açısından Değerlendirilmesi. Artium, 9(1), 36-46.
- Çiftçi, İ., Çağlayan Gümüş, D., Fevzioglu, G., Ayanoğlu, S., Sayan, T., 2017. Erişilebilirlik İzleme ve Denetleme Formları. Ankara: Aile ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Yayını, Yayın 01.
- Doğan, Ö. E., 2017. Evrensellik ve Erişilebilirliğin Grafik Tasarım Çalışmalarında Kullanımı. Ulakbilge, 5(16), 1677-1692.
- Erişilebilirlik Kılavuzu. (2020), T.C. Ministry of Family, Labor and Social Services, Ankara.
- Keleş, R., 1998. Kentbilim Terimleri Sözlüğü, Ankara: İmge Kitabevi.

Irmak, M.A., Kırmızıbayrak, E., 2024. Investigation of Principles of Accessibility and Barrier-Free Landscaping in Urban Recreation Areas in Erzurum Historical Core. Architectural Sciences and Outdoor Recreation, 193-219.

Odabaş Uslu, A., Güneş, M., 2017. Engelsiz Kentler-“Herkes İçin Erişilebilir Kentler”, Uluslararası Peyzaj Mimarlığı Araştırma Dergisi, 1(2), ss.30-36.

Soykut Sarıca, Y. P., Yüksel, E., 2012. Yerel Yönetimlerde Sosyal Sorumluluk Projesi Uygulaması Olarak Sosyal Hayata Katılım: Engelsiz Yaşam. Çalışma İlişkileri Dergisi, 3(1), ss. 48-66.

Şat, N., Göver, T., 2017. Engelliler İçin Belediyelerin Erişilebilirlik Sorumlulukları: Çorum Engel Haritası Projesi. Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 10(1), ss. 521-541.

TSE, 2011. TS 9111 Özürlüler ve Hareket Kısıtlılığı Bulunan Kişiler İçin Binalarda Ulaşılabilirlik Gereklere, Erişim Adresi: <http://hissedilebiliryuzeyler.com/pdf/tse9111.pdf> (13.06.2019).

Tuğluer, M., Ekren, E., 2022. Kentsel Açık Yeşil Alanların Engelliler İçin Evrensel Standartlar Kılavuzu Kapsamında Değerlendirilmesi: Kahramanmaraş Engelliler Sevgi Parkı Örneği. Turkish Journal of Forest Science, 6(2), 588-603.

TÜİK, 2017. Nüfus İstatistikleri, Ankara.

Yiğit, A., 2002. Güneydoğu Torosların yöresel etüdü, F.Ü Sosyal Bilimler Dergisi, 12(1): 47–77.

EXAMINING THE SPATIAL CHANGE OF KÜLTÜRPAK FROM THE 1970S TO THE PRESENT THROUGH FILM LANDSCAPE

Dr. Esra ÇETİNKAYA ÖZKAN

Fırat University

esra.cetinkaya.ozkan@gmail.com - ORCID ID 0000-0001-8797-194X

ABSTRACT

Film landscape uses natural or artificial environments, places, and landscapes in a film to visualize the story, create atmosphere, and support the narrative. The film landscape provides a spatial background and functions as a narrative tool that integrates with the characters' theme, emotional tone, and inner world. Landscapes can reflect the socio-cultural structure of a period in films and can detail the geography or spatial dynamics where the story takes place. This paper examines the spatial change of Izmir Kültürpark through Yeşilçam films shot in the 1970s, *Ateş Böceği*, *Baba Bizi Eversene*, and *Uyanık Kardeşler*. In these films, Kültürpark draws attention as a public space that strongly reflects the period's social, cultural, and landscape elements. The pond, water bicycles, walking paths, pavilions, and the natural structure of the park provide clues about the social life of Izmir in that period. In the 1970s, Kültürpark was a recreation area and a focal point where socialization and entertainment were intensely experienced as the central venue of the Izmir International Fair. As of 2024, Kültürpark has undergone a functional transformation within the city's increasing modernization and construction dynamics. The dynamic social areas and activity density depicted in the films have given way to more individual uses. Although the natural environment has been largely preserved, activities such as paddle boats, fair pavilions, and social interaction mechanisms have significantly decreased. In this context, Yeşilçam films provide a significant visual archive to understand the multifunctional structure of Kültürpark in the past and the transformation in the use of public spaces. The study aims to reveal the effects of spatial change on the cultural identity of Izmir by discussing the place of Kültürpark in the city's memory through these three films.

Keywords: Kültürpark, film landscape, spatial change

1970'LERDEN GÜNÜMÜZE KÜLTÜRPAK'IN MEKÂNSAL DEĞİŞİMİNİN FİLM PEYZAJI ARACILIĞIYLA İNCELENMESİ

ÖZET

Film peyzajı, bir filmde yer alan doğal ya da yapay çevrelerin, mekânların ve manzaraların, hikâyeyi görselleştirmek, atmosfer oluşturmak ve anlatıyı desteklemek için kullanılmasıdır. Film peyzajı, mekânsal bir arka plan sunmakla birlikte filmin teması, duygusal tonu ve karakterlerin iç dünyasıyla bütünleşen bir anlatım aracı olarak da işlev görmektedir. Peyzaj, filmlerde bir dönemin sosyokültürel yapısını yansıtabilmekte, hikâyenin geçtiği coğrafyayı veya mekânsal dinamikleri detaylandırabilmektedir. Bu bildiri, İzmir Kültürpark'ın mekânsal değişimini, 1970'li yıllarda çekilen Ateş Böceği, Baba Bizi Eversene ve Uyanık Kardeşler adlı Yeşilçam filmleri üzerinden incelemektedir. Bu filmlerde, Kültürpark; dönemin sosyal, kültürel ve peyzaj öğelerini güçlü bir şekilde yansıtan bir kamusal alan olarak dikkat çekmektedir. Gölet, su bisikletleri, yürüyüş yolları, pavyonlar ve parkın doğal yapısı, o dönemin İzmir'inin sosyal yaşamına dair ipuçları sunmaktadır. Kültürpark, 1970'lerde yalnızca bir rekreasyon alanı değil, aynı zamanda İzmir Enternasyonal Fuarı'nın merkezi bir mekanı olarak, sosyalleşme ve eğlencenin yoğun şekilde yaşandığı bir odak noktasıydı. 2024 yılı itibarıyla Kültürpark, kentin artan modernleşme ve yapılaşma dinamikleri içinde işlevsel bir dönüşüm geçirmiştir. Filmlerde betimlenen dinamik sosyal alanlar ve etkinlik yoğunluğu, yerini daha bireysel kullanımlara bırakmıştır. Doğal çevre büyük ölçüde korunsa da su bisikleti gibi aktiviteler, fuar pavyonları ve sosyal etkileşim mekanizmaları önemli ölçüde azalmıştır. Bu bağlamda, Yeşilçam filmleri, Kültürpark'ın geçmişteki çok işlevli yapısını ve kamusal alan kullanımındaki dönüşümü anlamak için önemli bir görsel arşiv sunmaktadır. Çalışma, bu üç film üzerinden Kültürpark'ın kent belleğindeki yerini tartışarak, mekânsal değişimin İzmir'in kültürel kimliği üzerindeki etkilerini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kültürpark, film peyzajı, mekânsal değişim

1. GİRİŞ

Film peyzajı, sinema eserlerinde mekânın estetik, anlatsal ve simgesel bir öge olarak kullanımını ifade etmektedir. Mekân, film anlatısında yalnızca bir arka plan değil, aynı zamanda karakterlerin duygusal durumlarını yansıtan, hikâyeyi derinleştiren ve tematik anlamlar üreten bir araçtır. Film peyzajı, izleyiciyle kurduğu görsel ve duyuşsal etkileşim yoluyla, hikâyenin mekânsal bağlamını oluşturmakta ve sinematografik dilin ayrılmaz bir parçası hâline gelmektedir (Lukinbeal, 2005). Özellikle kentsel peyzajlar, bir dönemin toplumsal ve kültürel dokusunu yansıtmakla kalmaz, aynı zamanda mekânın dönüşüm süreçlerine de tanıklık etmektedirler. Bu bağlamda, film peyzajı, sinema aracılığıyla mekânın toplumsal bellekteki yerini pekiştiren ve yeniden üreten bir platform sunmaktadır. Sinema tarihindeki pek çok yapıım, mekânsal tasvirleriyle hem estetik hem de kültürel bir miras yaratmıştır.

Yeşilçam, Türkiye’de sinema endüstrisinin 1950’lerden 1980’lere uzanan altın çağını simgeleyen bir dönem ve kültürel olgudur (Gülçur, 2016). Adını, İstanbul Beyoğlu’ndaki Yeşilçam Sokağı’ndan alan bu dönem, hem sanatsal hem de ticari anlamda Türk sinemasının en üretken ve etkili yıllarını ifade etmektedir. 1960’lar ve 1970’ler, Yeşilçam’ın toplumsal, kültürel ve ekonomik dinamiklerle şekillenen bir halk sineması niteliği kazandığı yıllardır. Bu süreçte melodramlar, komediler, tarihî ve epik anlatılar, sosyal içerikli filmler gibi türlerde yüzlerce film üretilmiştir. Yeşilçam filmleri, bir yandan kentleşme, göç, sınıfsal eşitsizlik ve modernleşme gibi toplumsal meseleleri işlerken, diğer yandan dönemin değer yargılarını ve popüler kültürünü yansıtarak geniş bir izleyici kitlesine hitap etmiştir (Özker, 2024). Türk sinemasının hafızası niteliğindeki bu dönemin, film mekânları ve peyzaj kullanımını açısından da önemli bir estetik ve kültürel miras bıraktığı söylenebilmektedir.

Bu çalışma, İzmir’in simgesel mekânlarından biri olan Kültürpark’ın 1970’lerden günümüze uzanan mekânsal değişimini, Yeşilçam filmlerinde kullanılan film peyzajları aracılığıyla incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma, Kültürpark’ın kentsel kimliğini, toplumsal bellekteki yerini ve peyzaj öğelerindeki dönüşümü, sinemanın görsel ve anlatısal gücünden yararlanarak analiz etmeyi hedeflemektedir. Yeşilçam filmlerinin, dönemin kültürel, sosyal ve mekânsal dinamiklerini yansıtmaya potansiyeli, bu analizin temel dayanağını oluşturmaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın amacı, Kültürpark’ın tarihi ve mekânsal dönüşümüne ışık tutarken, sinema ve peyzaj arasındaki ilişkiyi disiplinlerarası bir perspektifle ele almaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Kültürpark’ın 1970’lerden günümüze mekânsal değişimini analiz etmek için Yeşilçam filmlerinde yer alan sahneler ana materyal olarak kullanılmıştır. Filmler, Kültürpark’ın döneme özgü peyzaj özelliklerini, mekânsal organizasyonunu ve toplumsal işlevlerini yansıtan görsel veriler sağlamaktadır. Bu bağlamda, çalışmada Kültürpark’ta çekilmiş veya mekânı temsil eden sahneler içeren Yeşilçam filmleri belirlenmiştir. *Ateş Böceği* (1975), *Baba Bizi Eversene* (1975) ve *Uyanık Kardeşler* (1974) filmleri kullanılmıştır. Bu filmler, Kültürpark’ın dönemin sosyal ve kültürel yapısıyla ilişkili mekânsal özelliklerini yansıtan sahneler içermektedir.

Yöntem olarak, öncelikle literatür taraması yapılarak Kültürpark’ın tarihsel gelişimi ve Yeşilçam sinemasındaki yeri hakkında bilgi derlenmiştir. Ardından, seçilen filmlerdeki sahneler, mekânsal kullanım, peyzaj öğeleri ve mekânın sosyo-kültürel bağlamı içerik analizi yöntemiyle incelenmiştir. Görsel ve metinsel verilerin bir arada değerlendirilmesiyle, Kültürpark’ın mekânsal dönüşümü sinematografik bir çerçevede ortaya konulmuştur.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Kültürpark, İzmir’in kent belleğinde ve kamusal yaşamında önemli yer tutan simgesel bir mekândır. 1936 yılında Türkiye Cumhuriyeti’nin modernleşme çabalarının bir parçası olarak, İzmir Yangını’nın harap ettiği alan üzerinde inşa edilmiştir (Kayın, 2015; Çallı 2019). Fuar işleviyle bir yandan ekonomik kalkınmayı desteklemek, diğer yandan kültürel ve sosyal hayatı zenginleştirmek amacıyla tasarlanmıştır. Uluslararası İzmir Fuarı’nın düzenlenmesiyle, yalnızca bir rekreasyon alanı değil, aynı zamanda ekonomik, kültürel ve sanatsal faaliyetlerin

merkezi hâline gelmiştir. Bu özellikleri, Kültürpark'ı dönemin modernleşme söylemleri ve kentleşme pratikleri ile uyumlu bir kentsel mekân kılmıştır.

Zaman içinde, Kültürpark'ın mekânsal yapısı ve kullanım biçimleri, İzmir'in büyümesi ve toplumsal dönüşümlerle paralel olarak değişim göstermiştir. 1970'lerden itibaren artan kentleşme baskısı, parkın doğal ve kültürel varlıklarının korunması ile ticari ve rekreatif işlevlerin dengelenmesi konusunda yeni zorluklar yaratmıştır. Mekânın peyzaj tasarımındaki değişiklikler, kullanıcı profili ve işlevsel dağılımı üzerinde etkili olmuş; bu süreçte, parkın film peyzajı olarak kullanımı da Kültürpark'ın toplumsal algısını ve kimliğini şekillendiren bir unsur olarak öne çıkmıştır.

3.1. Ateş Böceği



Görsel 1. Ateş Böceği filmi Lozan kapısı girişinden bir sahne (URL 1) ve günümüz görseli (URL 2)

1970'ler (Yeşilçam dönemi): Görselde, Kültürpark'ın çim alanları ve düzenli şekilde sıralanmış palmyeler dikkat çekmektedir. Arka planda o dönemin İzmir Enternasyonal Fuarı'nın ikonlarından olan pavyon yapıları ve ağaç dokusu seçilebilmektedir. Yeşilçam filmlerinde bu tür mekânlar genellikle insanların dinlenme, sosyalleşme ve doğayla iç içe olma ihtiyacını vurgulayan bir bağlamda kullanılmaktadır. Alanın düzenli peyzajı, palmyelerin güçlü bir vurgu unsuru oluşturduğu ve yeşil alanların geniş ölçüde insan kullanımına açık olduğu bir dönemini temsil etmektedir.

Günümüz: Bugün Kültürpark'ın çim alanları kısmen korunmuş olsa da, palmyelerin çevresinde yoğun bir şekilde gelişen ağaç dokusu nedeniyle bu tür açık ve net görünüm azalmıştır. Pavyon yapılarının büyük çoğunluğu yenilenmiş veya alanın işlevselliği değişmiştir. 1970'lerdeki gibi açık, ferah ve geniş perspektifler yerine daha yoğun bir bitki örtüsü ve bireysel kullanım alanlarına ayrılmış daha izole bölümler dikkat çekmektedir. Gösterişli ve etkinlik odaklı yapılar, günümüzde daha çok rekreatif ve koruma amaçlı alanlara dönüşmüştür.



Görsel 2: Ateş Böceği filmi havuz önünden bir sahne (URL 1)

1970'ler (Yeşilçam dönemi): Bu sahne, 1970'ler Kültürpark'ını oldukça simgesel bir mekânda yansıtan bir örnek sunmaktadır. Görselde yer alan geniş havuz, o dönemin peyzaj tasarımına uygun olarak simetriyi ve geometrik düzeni vurgulayan bir tasarımla dikkat çekmektedir. Havuzun içindeki "Ticaret Bankası"na ait reklam unsurları, dönemin hem ticari hem de kültürel atmosferini yansıtırken, çevredeki geniş yeşil alanlar ve palmyeler de Kültürpark'ın bir rekreasyon alanı olarak kullanımını vurgulamaktadır.

Günümüz: Bu sahnede görülen havuzlar ve onların çevresindeki açık alanlar zamanla mekânsal değişime uğramıştır. Havuzların bir kısmı kaldırılmış ya da farklı işlevlere dönüştürülmüştür. Palmiyelerin düzeni ve alanın geniş açıklığı büyük ölçüde korunmuş olsa da, artan ağaç dokusu ve yeşil alanların daha doğal bir görünüme bürünmesi dikkat çekmektedir. Ayrıca, günümüzde Kültürpark'ın kullanım biçimi daha çevreci ve sürdürülebilir bir anlayışla şekillenmiştir; örneğin, reklam panoları veya ticari unsurlar neredeyse tamamen ortadan kalkmıştır.

3.2. Baba Bizi Eversene



Görsel 3: Baba Bizi Eversene filmi palmyeli yoldan bir sahne (URL 3)

1970'ler (Yeşilçam dönemi): Bu sahne, 1970'lerde İzmir Kültürpark'ın simgesel Palmiyeli Yol'una aittir. Görüntü, dönemin düzenli ve simetrik peyzaj tasarımını yansıtmaktadır. Palmiye ağaçlarının iki sıra halinde kusursuz şekilde dizildiği bu alan, Cumhuriyet Anıtı'na odaklanacak şekilde planlanmıştır. Alan, bakımlı bitki örtüsü ve temiz yollarıyla hem görsel bir estetik sunmakta hem de toplumsal bir buluşma noktası işlevi görmektedir. Bu dönem, peyzaj mimarlığında klasik düzen ve estetik anlayışının hâkim olduğu bir dönemi temsil etmektedir.

Günümüz: Günümüzde Palmiyeli Yol, 1970'lerdeki düzenini büyük ölçüde korumakla birlikte, çevresel koşullar ve kentsel dönüşüm süreçleri nedeniyle farklı bir görünüme dönüşmüştür. Palmiye ağaçları alanın simgesi olmayı sürdürse de, çevresindeki peyzajda bazı değişiklikler gözlemlenmektedir. Modern altyapı ve kentsel ihtiyaçlar, bölgenin işlevselliğini artırmak için bazı müdahaleleri beraberinde getirmiştir. Ayrıca, artan ziyaretçi yoğunluğu ve çevresel etmenler nedeniyle alanın orijinal estetik görünümünün kısmen aşınmış olduğu

söylenilmektedir. Bununla birlikte, Palmiyeli Yol, hem İzmir halkı hem de ziyaretçiler için hâlâ önemli bir kültürel ve tarihi alan olarak varlığını sürdürmektedir.



Görsel 4: Baba Bizi Eversene filmi göletten bir sahne (URL 3) ve günümüz görseli (URL 4)

1970'ler (Yeşilçam dönemi): Bu sahne, 1970'lerde Kültürpark'ın içinde yer alan gölet alanını göstermektedir. Dönemin sosyal yaşamını yansıtan bu sahnede, gölette kullanılan pedal tekneler dikkat çekmektedir. Çevredeki yoğun bitki örtüsü ve göletteki mimari detaylar, dönemin peyzaj tasarım anlayışını yansıtmaktadır. Palmiyeler ve su ögeleri gibi tropikal ve estetik unsurlar, hem yerel halkın hem de ziyaretçilerin doğal bir ortamda keyifli vakit geçirebileceği bir atmosfer yaratmıştır. 1970'ler boyunca Kültürpark, dinlenme ve eğlence alanı olarak İzmir'in önemli bir cazibe merkezi olmuştur.

Günümüz: Bugün Kültürpark'taki gölet alanında belirgin değişiklikler görülmektedir. Pedal tekneler gibi aktif kullanıma yönelik unsurlar kaldırılmış, yerine daha statik ve korumacı bir yaklaşım benimsenmiştir. Bitki örtüsü, çevresel düzenlemeler ve mimari elemanlar zamanla değişime uğramış, bu durum göletin estetik ve işlevsel kimliğini etkilemiştir. Günümüzde alan daha çok pasif dinlenme alanı olarak kullanılmakta ve nostaljik değeri vurgulanan bir peyzaj unsuru haline gelmiştir. Ancak geçmişteki yoğun sosyal aktivitelerin yerini daha sessiz ve sakin bir kullanım biçimi almıştır. Gölet günümüzde aslına uygun olarak yenilenmektedir (URL 4).



Görsel 5: Baba Bizi Eversene filmi Lunapark çarpışan arabalardan bir sahne (URL 3)

1970'ler (Yeşilçam dönemi): 1970'lerde, görseldeki çarpışan araba alanı, dönemin eğlence anlayışını ve sosyal yaşamını yansıtan önemli bir aktivite alanıdır. Kültürpark, özellikle bu tür eğlence noktalarıyla hem İzmirli hem de ziyaretçiler için bir cazibe merkezidir. Fotoğrafta yer alan çarpışan araba alanı, klasik tasarımıyla ve çevresindeki tropik bitki örtüsü ile dikkat çekmektedir. Palmiye ağaçları ve parkın doğal peyzajıyla bütünleşen bu alan, dönemin ferah ve keyifli atmosferini yansıtan bir sahne oluşturmaktadır.

Günümüz: Günümüzde ise çarpışan araba alanlarının yerini daha modern eğlence konseptleri ve teknolojik oyun alanları almış durumdadır. Kültürpark, tarihi değerine uygun olarak daha çok yeşil alanları ve kültürel etkinlikleri ön plana çıkaran bir yaklaşımla yeniden düzenlenmiştir. Ancak, bu tür eski eğlence alanlarının kaybolması, nostaljik bir kayıp olarak değerlendirilmekte ve geçmişteki sosyal yaşamı hatırlatmaya devam etmektedir. Bugünkü peyzaj tasarımı daha sessiz bir eğlence anlayışını teşvik etmektedir.

3.3. Uyanık Kardeşler



Görsel 6: Uyanık Kardeşler filmi fuar alanlarından bir sahne (URL 5)

1970'ler (Yeşilçam dönemi): Bu dönemde Kültürpark'ın düzenlemesi, modern mimarinin etkilerini yansıtan bir yapıya sahiptir. Arka plandaki bina, dönemin uluslararası fuar alanları ve sergi salonlarının bir parçasıdır. Havuzlar ve çevresindeki peyzaj unsurları, sponsorların logoları ve dönemin estetik anlayışını sergileyen detaylarla doludur. Yeşilçam filmlerinde sıkça kullanılan bu alan, geniş çim alanları, su unsurları ve özgün yapısal elemanlarıyla romantik ve doğal bir ortam sunmaktadır. Çevredeki ağaçlar ve bitki örtüsü, alana ferah ve doğal bir görünüm kazandırmaktadır.

Günümüz: Günümüzde Kültürpark'ın bu alanında önemli değişiklikler göze çarpmaktadır. Fotoğraftaki bina yıkılmıştır, mevcut yapılaşma ise farklı bir kullanım amacına evrilmiştir. Havuzların ve çevresindeki sponsor logolarının artık bulunmadığı, bunun yerine daha sade ve modern peyzaj unsurlarının kullanıldığı gözlemlenmektedir. Yeşil alanlar kısmen korunmuş olsa da, alanın genel görünümü geçmişe kıyasla daha yoğun bir yapılaşma ve farklı peyzaj düzenlemeleri ile değişime uğramıştır. Bu değişiklikler, kentin modernleşme sürecinin ve farklı kullanım ihtiyaçlarının bir yansımasıdır.



Görsel 7: Uyanık Kardeşler filmi Pakistan Pavyonu'ndan bir sahne (URL 5) ve günümüz görseli (URL 6)

1970'ler (Yeşilçam dönemi): Görsele, İzmir Kültürpark'ın nostaljik öğeleri öne çıkmaktadır. Sol tarafta, Pakistan Pavyonu (Evkaf Vakıflar Pavyonu) olarak kullanılan karakteristik yapı, dönemin modern mimari anlayışını yansıtmaktadır. Arka planda sıralanmış palmiyeler ve heykeller, parkın düzenli ve estetik yapısını gözler önüne sermektedir. O yıllarda Kültürpark, sosyal ve kültürel etkinliklerin merkezi olarak kullanılmakta, aynı zamanda sakin bir dinlenme alanı sunmaktaydı.

Günümüz: Fotoğrafın günümüzdeki versiyonunda, Kültürpark'ın bu bölgesinin işlevinde ve fiziksel yapısında değişiklikler gözlenmektedir. Pakistan Pavyonu günümüzde sergi salonu olarak kullanılmaktadır. Dönemin bazı mimari yapıları korunmuş olsa da, yeşil alanların düzenlenmesi ve çevresel peyzaj tasarımlarında modernize edilmiş yaklaşımlar tercih edilmiştir. Ayrıca, artan kentleşme ve nüfus yoğunluğu nedeniyle parkın çevresindeki yapılaşmanın değişmesi, genel atmosfer üzerinde etkili olmuştur. Palmiyeler hâlâ aynı ihtişamlı varlığını sürdürürken, bazı heykel ve mimari detaylar, kentsel dönüşüm projeleriyle yenilenmiş ya da yer değiştirmiştir.



Görsel 7: Uyanık Kardeşler filmi trenin yer aldığı sahne (URL 5)

1970'ler (Yeşilçam dönemi): Bu fotoğraf, Kültürpark'ın bir döneme damgasını vuran nostaljik treninin kullanıldığı yıllara ait bir kareyi temsil etmektedir. 1970'lerde çekilmiş olan bu sahnede, tren, dönemin endüstriyel tasarım anlayışını yansıtan bir figür olarak karşımıza çıkmaktadır. Çevredeki yoğun bitki örtüsü ve düzenli peyzaj, parkın o dönemde doğal ve düzenli bir kullanım alanı olduğunu göstermektedir. Trenin hemen yakınındaki tabelalar ise İzmir'in simgesi olan saat kulesi ve diğer şehir ikonlarını taşıyan görsellerle kentsel kimliğe atıfta bulunmaktadır.

Günümüz: Kültürpark günümüzde bu tür nostaljik trenler yerine yayaların kullanımına uygun düzenlemeler ve modern peyzaj öğeleriyle ön plana çıkmaktadır. Bu alan, geçmişin buhar makineli trenlerinden arındırılarak çevresel sürdürülebilirlik anlayışı doğrultusunda yenilenmiştir. Ancak eski trenin oluşturduğu nostaljik atmosfer, günümüzde parkta bulunmayan bir öğe olarak hatıralarda yer almaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Kültürpark'ın 1970'lerden günümüze mekânsal değişimi, bir yandan dönemsel kentleşme dinamiklerini yansıtırken, diğer yandan da İzmir'in kültürel ve tarihi mirasının sürdürülebilir bir şekilde korunması açısından önemli bir inceleme alanı sunmaktadır. Sinema filmleri aracılığıyla elde edilen görseller, parkın geçmişteki estetik, işlevsel ve sosyal önemini gözler önüne sererken, bu görsellerle günümüz arasındaki karşılaştırmalar, değişim sürecinin hem kazanımlarını hem de kayıplarını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, Kültürpark'ın mekânsal düzenlemeleri, dönemin ihtiyaçları ve kentleşme anlayışı doğrultusunda değişiklik göstermiştir. Ancak bu süreçte, parkın kentin kimliğini oluşturan bir hafıza mekânı olma özelliği korunmaya çalışılmıştır. Modern peyzaj düzenlemeleri ve sürdürülebilirlik hedefleriyle yenilenen Kültürpark, nostaljik öğelerini büyük ölçüde kaybetmiş olsa da kent halkının yaşamında önemli bir yere sahiptir. Bu bağlamda, Kültürpark'ın geçmişten günümüze mekânsal dönüşümü, İzmir'in kentsel planlama süreçleri ve toplumsal hafıza arasındaki ilişkileri anlamak için önemli bir örnek teşkil etmektedir.

KAYNAKÇA

1. Çalli, F. Ö., *Kamusal Mekan Olarak Kent Parklarının Sosyal Yaşam ve Yer Oluşturma Açısından Önemi-İzmir-Kültürpark Örneği*, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2019.
2. Gülçur, Â. S., *Türk Sinemasında Yeşilçam Dönemi*, Nobel Yayınevi, Ankara, 2016.
3. Kayın, E., *Anımsama ve unutkanlığın temsilleri: İzmir Enternasyonal Fuarı ve Kültürpark'ın hafıza katmanları*. A. Yılmaz, K. Kılınç ve B. Pasin, (Ed.). *İzmir Kültürpark'ın anımsama*(ma)dıkları: temsiller, mekanlar, aktörler içinde (35-76). İstanbul: İletişim Yayınları, 2015.
4. Lukinbeal, C., Cinematic Landscapes, *Journal of Cultural Geography*, Sayı 23:1, s.3-22, 2005. doi:10.1080/08873630509478229
5. Özker, S., Yeşilçam Sinemasında Anlatısal Yapının Mekân Kullanımına Etkisi: Yüksek Yeşilçam Dönemi (1960-1975), *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 14(1), 512-532, 2024.
6. URL 1 <https://www.youtube.com/watch?v=wI8UefXOcF4> (Erişim tarihi: 24.12.2024)
7. URL 2 <https://maps.app.goo.gl/CAPL3qPmVb1mYz5A8> (Erişim tarihi: 24.12.2024)
8. URL 3 https://www.youtube.com/watch?v=_zEmwA5qwZw (Erişim tarihi: 24.12.2024)
9. URL 4 <https://www.izmir.bel.tr/tr/Haberler/kulturpark-ada-ve-gol-gazinolari-yeniden-doguyor/49162/156> (Erişim tarihi: 24.12.2024)
10. URL 5 <https://www.youtube.com/watch?v=CL9UmZmzPZ0> (Erişim tarihi: 24.12.2024)
11. URL 6 <https://maps.app.goo.gl/1RNgz2eAnBonZ8ae6> (Erişim tarihi: 24.12.2024)

Yat Verniği Uygulanmış Teak (*Tectona grandis* L.) Ahşabında Bazı Yüzey Özellikleri Üzerine Farklı Kat Sayılarının Etkileri

Doç. Dr. Göksel ULAY¹, Doç. Dr. Ümit AYATA²

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Van Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojisi Bölümü, Mobilya Dekorasyon Programı, Van, Türkiye,
g.ulay@yyu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4080-8816,

²Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt, Türkiye,
Sorumlu yazar: umitayata@yandex.com ORCID ID: 0000-0002-6787-7822

Özet

Tik ağacına ait kerestesi, günümüzde birçok ahşap işleyen endüstri kuruluşlarında kullanılmaktadır (gemi yapımı, mobilya ve genel marangozluk, vb.). Bu çalışmada, yat verniği uygulanmış teak (*Tectona grandis* L.) ahşabında bazı yüzey özellikleri (beyazlık indeksi: WI^* , renk parametreleri [kroma (C^*) değeri, sarı (b^*) renk tonu, ışıklılık (L^*) değeri, kırmızı (a^*) renk tonu ve ton (h^0) açısı değeri] ve parlaklık değerleri) üzerine farklı kat sayılarının (1 ve 2) etkileri araştırılmıştır. Yapılan vernik uygulamaları sonrasında kontrol örneklerine kıyasla C^* , b^* , a^* parametreleri, bütün derecelerde ve yönlerdeki parlaklık değerlerinde artışlar bulunurken, L^* ve h^0 değerleri ile her iki yöndeki WI^* değerlerinde azalışlar tespit edilmiştir. Bütün varyans analizleri anlamlı bulunmuştur. ΔE^* değerleri 1 kat ile 10.31 ve 2 kat ile 11.56 olarak elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Teak odunu, renk, yat verniği, parlaklık, beyazlık indeksi

The Effects of Different Coat Numbers on Certain Surface Properties of Teak (*Tectona grandis* L.) Wood Coated with Yacht Varnish

Abstract

Teak wood is widely used in various wood-processing industries today (shipbuilding, furniture, general carpentry, etc.). In this study, the effects of different coat numbers (1 and 2) of yacht varnish on certain surface properties (whiteness index: WI^* , colour parameters [chroma (C^*), yellow (b^*) colour tone, lightness (L^*), red (a^*) colour tone, and hue angle (h^0) values], and gloss values) of teak (*Tectona grandis* L.) wood were investigated. Following the varnish applications, compared to the control samples, increases were observed in C^* , b^* , and a^* parameters, as well as in gloss values across all levels and directions. However, decreases were noted in L^* and h^0 values, as well as in WI^* values in both directions. All variance analyses were found to be significant. The ΔE^* values were obtained as 10.31 with one coat and 11.56 with two coats.

Keywords: Teak wood, colour, yacht varnish, gloss, whiteness index

1. Giriş

Kullanım sırasında bir ahşap parçasını mümkün olduğunca korumak için bitirme ürünlerinin kullanımı esas olmaktadır. Bu amaç için vernikler, boyalar ve lekeler gibi çeşitli ürünler mevcut olsa da, bu uygulamaların ahşap rengi ve pürüzlülüğü üzerindeki etkisi hakkında çok az şey bilinmektedir. Doğal yarı parlak setol, özel alkid tipi reçineler, mikrop öldürücü, şeffaf UV emiciler, işlevsel mineral dolgu maddeleri, terebentin ve katkı maddelerine dayalı bir üründür. Deniz verniği, çözücülerde çözülmüş yağlarda bir alkid polimeridir ve üreticinin kılavuzuna göre koruyucu bir film veya dekoratif kaplama olarak kullanılmaktadır (de Paula ve ark., 2020). Boya, cilalardan farklı olmaktadır. Çünkü boya opak bir film sağlar ve ahşabın yapısını gizlemektedir. Ayrıca, boya ahşabın gözeneklerine kolayca yapışmaz. Bu nedenle zamanla boya ahşabı açığa çıkarmaktadır ve korumasız bırakmaktadır. Öte yandan, cilalar şeffaf olabilir ve ahşabın doğal güzelliğini vurgulamaktadır. Ayrıca mükemmel bir koruma sunmaktadır (Segura, 1992; Rivera, 2016).

Renk modelleri, renkleri oluşturmak için bir temel oluşturur ve bu temel, N vektörden oluşur. Bu vektörlerin lineer kombinasyonu, renk alanını oluşturur. En yaygın renk alanları üç boyutlu olanlardır (Rodriguez, 2012).

Sıvı yüzey işlemlerinin yapışması ile ilgili olarak, bu büyük ölçüde substrat yüzeyinin özelliklerine bağlıdır. Bu da onların tüketimini ve dolayısıyla üretim maliyetlerindeki artışı önemli ölçüde etkilemektedir (Roffael, 1993; Carrasco, 2007).

Tectona, Lamiaceae familyasına ait tropikal sert ağaç cinsidir. Bu aile yaklaşık 236 cins ve 6900 ila 7200 tür içermektedir (Kuete, 2017; Vyas ve ark., 2019). Teak (*Tectona grandis* L.f.), hem doğal ormanlardan hem de plantasyonlardan çıkarılan yüksek kaliteli kerestenin uluslararası pazarındaki en önemli tropikal sert ağaç türlerinden biridir. Teak ormanları Myanmar, Hindistan, Tayland ve Laos'ta doğal olarak bulunur ve yaklaşık 23 milyon hektarlık bir alanı kaplar. Teak ayrıca tropik bölgelerde en az 36 ülkede plantasyonlarda yetiştirilmektedir ve yaklaşık 5.7 milyon hektar teak plantasyonu kaydedilmiştir (Bhat ve Ma, 2004; Verhaegen ve ark., 2010).

Yaygın olarak tik veya teak (İngilizce) olarak bilinen *Tectona grandis* L. f., Güneydoğu Asya'ya özgü, 45 m yüksekliğe ulaşan ve olgunluğa ulaştığında payandalı bir gövde geliştiren, yaprak dökken büyük bir ağaçtır. En değerli ve en iyi bilinen tropik ağaçlardan birinin kaynağı olan tik ağacı, gemi yapımı, mobilya ve genel marangozluk için kereste üretimi amacıyla yaygın olarak ekilmektedir. Tik ağacının dokusu düzdür, eşit oranda orta dokuludur ve dokunulduğunda yağlıdır. Kuruduktan sonra hafif bir koku algılanabilir. Ahşabın havası hızlı ve tatmin edici bir şekilde kurur, yalnızca küçük bir deformasyon olur, ancak yüzeyde sertleşme veya çatlama olmaz. Tik ayrıca minimum kontrol, bölme veya bükme ile fırında iyi fakat yavaş bir şekilde kurumaktadır (Francis ve ark., 2000).

Tik ağacı tripleks yapmak için kullanılır ve tik atığı sıkıştırılmış ahşap, lif ve yonga levha yapımında kullanılır (Singh ve ark., 1983).

Bu çalışmada yat verniği uygulanmış teak (*Tectona grandis* L.) ahşabında bazı yüzey özellikleri üzerine farklı kat (1 ve 2) sayılarının etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Teak (*Tectona grandis* L.) odunu 100 mm x 100 mm x 20 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Daha sonra iklimlendirme işlemleri yapılmıştır (ISO 554, 1976). Çalışmada, solvent bazlı yat verniği kullanılmıştır. 1 ve 2 kat olarak yat verniği ahşap malzeme yüzeylerine bir fırça ile uygulanmıştır.

Beyazlık indeksi (WI^*) değerleri ASTM E313-15e1, (2015) ve parlaklık testleri ise ISO 2813, (1994) standardı ile belirlenmiştir. Renk değişimleri, CS-10 cihazı kullanılarak ölçülmüştür (ASTM D 2244-3, 2007). Toplam renk farklılıkları aşağıdaki formüller ile belirlenmiştir.

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}}) - (C^*_{\text{referans}}) \quad (1)$$

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (2)$$

$$h^0 = \arctan (b^*/a^*) \quad (3)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{işlem görmüş örnek}}) - (b^*_{\text{referans}}) \quad (4)$$

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{işlem görmüş örnek}}) - (a^*_{\text{referans}}) \quad (5)$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{işlem görmüş örnek}}) - (L^*_{\text{referans}}) \quad (6)$$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (7)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (8)$$

ΔC^* , doygunluk farkı veya kroma kısmı ve ΔH^* ise gölge farkı veya ton bölümü şeklinde açıklanmaktadır. Diğer parametrelere ait tanımlamalarda Çizelge 1’de sunulmuştur (Lange, 1999). ΔE^* için kıyaslama kriterler (DIN 5033, 1979) Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* değerlerine ait tanımlamalar (Lange, 1999)

Pozitif durumda	Parametre	Negatif durumda
Referanstan daha açık	ΔL^*	Referanstan daha koyu
Referanstan daha kırmızı	Δa^*	Referanstan daha yeşil
Referanstan daha sarı	Δb^*	Referanstan daha mavi
Referanstan daha net, daha parlak	ΔC^*	Mat, referanstan daha bulanık

Çizelge 2. ΔE^* için kriterler (DIN 5033, 1979)

ΔE^*	Görsel fark	ΔE^*	Görsel fark
<0.20	Algılanamaz	3.00 ila 6.00	Çok belirgin
0.20 ila 0.50	Çok zayıf	6.00 ila 12.00	Güçlü
0.50 ila 1.50	Zayıf	> 12.00	Çok güçlü
1.50 ila 3.00	Belirgin		

Standart sapmaları, homojenlik grupları, minimum ve maksimum ölçümleri, ortalama değerleri, varyans analizleri ve % değişim oranları bir istatistik programı ile hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar Çizelge 3’de sunulmaktadır. ΔL^* değerleri her iki kat uygulaması ile negatif olarak (referanstan daha koyu) bulunurken, Δa^* (referanstan daha kırmızı), Δb^* (referanstan daha sarı) ve ΔC^* (referanstan daha net, daha parlak) değerleri ile pozitif olarak tespit edilmiştir. ΔH^* değerleri 1 kat ile 1.47 ve 2 kat ile 1.50 olarak elde hesaplanmıştır. ΔE^* değerleri 1 kat ile 10.31 ve 2 kat ile 11.56 olarak elde edilmiştir. Renk değiştirme kriterleri (DIN 5033, 1979) açısından her iki kat uygulamaları “güçlü (6.00 ila 12.00)” kriterini vermiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar

Kat Sayısı	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔE^*	Renk değiştirme kriterleri (DIN 5033, 1979)
1 kat	-3.88	5.71	7.65	9.43	1.47	10.31	Güçlü (6.00 ila 12.00)
2 kat	-4.32	6.35	8.63	10.61	1.50	11.56	

Varyans analizi sonuçları Çizelge 4’de verilmiştir. Bütün testler için uygulanan katsayısı faktörünün anlamlı olarak elde edildiği görülmüştür (Çizelge 4).

Çizelge 4. Varyans analizi sonuçları (*: anlamlı)

Test	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
L^*	158.663	2	79.332	373.514	0.000*
a^*	236.552	2	118.276	1621.958	0.000*
b^*	139.842	2	69.921	416.753	0.000*
C^*	302.287	2	151.144	881.291	0.000*
h^o	344.478	2	172.239	535.848	0.000*
$\perp 20^\circ$ parlaklık	511.117	2	255.558	618.397	0.000*
$\perp 60^\circ$ parlaklık	6090.969	2	3045.484	1355.445	0.000*
$\perp 85^\circ$ parlaklık	8353.715	2	4176.857	2863.476	0.000*
$\parallel 20^\circ$ parlaklık	341.600	2	170.800	244.881	0.000*
$\parallel 60^\circ$ parlaklık	6147.123	2	3073.561	640.246	0.000*
$\parallel 85^\circ$ parlaklık	7068.371	2	3534.185	1351.907	0.000*
$WI^*(\perp)$	247.136	2	123.568	2095.688	0.000*
$WI^*(\parallel)$	338.061	2	169.030	15791.761	0.000*

Renk ölçüm sonuçları [kroma (C^*) değeri, sarı (b^*) renk tonu, ışıklılık (L^*) değeri, kırmızı (a^*) renk tonu ve ton (h^o) açısı değeri] Çizelge 5’de sunulmuştur.

Çizelge 5. Renk ölçüm sonuçları

Test	Uygulama Sonrası	Ortalama	Değişim (%)	Homojenlik Grubu	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı
L^*	Kontrol	52.13	-	A*	0.47	51.03	52.71	0.91
	1 kat	47.48	↓8.92	B	0.45	46.74	48.24	0.96
	2 kat	47.04	↓9.76	C*	0.46	46.50	47.83	0.97
a^*	Kontrol	8.94	-	C**	0.33	8.33	9.36	3.68
	1 kat	14.55	↑62.75	B	0.32	14.17	15.25	2.18
	2 kat	15.19	↑69.91	A*	0.10	15.07	15.38	0.64
b^*	Kontrol	21.82	-	C**	0.38	21.17	22.29	1.73
	1 kat	25.83	↑18.38	B	0.42	24.86	26.58	1.63
	2 kat	26.81	↑22.87	A*	0.43	26.36	27.46	1.60
C^*	Kontrol	23.58	-	C**	0.43	22.75	24.14	1.81
	1 kat	29.65	↑25.74	B	0.46	28.61	30.34	1.54
	2 kat	30.83	↑30.75	A*	0.35	30.47	31.35	1.14
h^o	Kontrol	67.72	-	A*	0.65	66.83	68.52	0.96
	1 kat	60.62	↓10.48	B	0.52	59.43	61.20	0.86
	2 kat	60.46	↓10.72	B**	0.52	59.82	61.25	0.86

Ölçüm sayısı: 10, Homojenlik Grubu sütunu için *: En yüksek değer, **: En düşük değer

L^* (1 kat için %8.92 ve 2 kat için %9.76) ve h^o (1 kat için %10.48 ve 2 kat için %10.72) değerlerinde azalışlar görülürken, a^* (1 kat için %62.75 ve 2 kat için %15.19), C^* (1 kat için %25.74 ve 2 kat için %30.75) ve b^* (1 kat için %18.38 ve 2 kat için %22.87) değerlerinde her iki kat vernik uygulamaları ile artışlar belirlenmiştir. En yüksek sonuçlar L^* ve h^o değerleri için kontrol örneklerinde (sırası ile 52.13 ve 67.72) bulunurken, a^* , b^* ve C^* değerler için 2 kat vernik uygulanmış örneklerde (sırası ile 15.19, 26.81 ve 30.83) görülmüştür. Buna ek olarak en düşük sonuçlar ise L^* ve h^o değerleri için 2 kat vernik uygulanmış örneklerde (sırası ile 47.04 ve 60.46) bulunurken, a^* , b^* ve C^* değerler için kontrol örneklerinde (sırası ile 8.94, 21.82 ve 23.58) tespit edilmiştir (Çizelge 5).

Parlaklık ölçüm sonuçları Çizelge 6’da verilmiştir. Bütün derecelerde ve yönlerde yapılan parlaklık değerlerinde 1 ve 2 kat yat verniği uygulamaları ile artışlar tespit edilmiştir. En düşük sonuçlar kontrol deney örneklerinde ($\perp 20^\circ$: 0.38, $\perp 60^\circ$: 3.94, $\perp 85^\circ$: 3.36 ve $\parallel 20^\circ$: 0.54, $\parallel 60^\circ$:

4.80, $\parallel 85^\circ$: 10.60) bulunmuştur. En yüksek sonuçlar ise 2 kat yat verniği uygulanmış deney örneklerinde ($\perp 20^\circ$: 10.23, $\perp 60^\circ$: 38.78, $\perp 85^\circ$: 44.22 ve $\parallel 20^\circ$: 8.74, $\parallel 60^\circ$: 39.78, $\parallel 85^\circ$: 48.16) belirlenmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Parlaklık ölçüm sonuçları

Test	Uygulama Sonrası	Ortalama	Değişim (%)	Homojenlik Grubu	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı
$\perp 20^\circ$	Kontrol	0.38	-	C**	0.08	0.30	0.50	20.76
	1 kat	3.33	$\uparrow 776.32$	B	0.44	2.70	4.10	13.36
	2 kat	10.23	$\uparrow 2592.11$	A*	1.02	8.30	10.80	9.95
$\perp 60^\circ$	Kontrol	3.94	-	C**	0.23	3.70	4.20	5.76
	1 kat	19.55	$\uparrow 396.19$	B	2.27	15.60	21.50	11.63
	2 kat	38.78	$\uparrow 884.26$	A*	1.23	35.40	40.00	3.17
$\perp 85^\circ$	Kontrol	3.36	-	C**	0.51	2.50	3.90	15.06
	1 kat	22.84	$\uparrow 579.76$	B	2.00	19.50	24.70	8.76
	2 kat	44.22	$\uparrow 1216.07$	A*	0.35	43.60	44.60	0.78
$\parallel 20^\circ$	Kontrol	0.54	-	C**	0.08	0.40	0.60	15.62
	1 kat	3.74	$\uparrow 592.59$	B	0.76	2.90	4.90	20.21
	2 kat	8.74	$\uparrow 1518.52$	A*	1.23	7.10	10.70	14.08
$\parallel 60^\circ$	Kontrol	4.80	-	C**	0.22	4.60	5.20	4.61
	1 kat	20.20	$\uparrow 320.83$	B	3.41	17.30	25.20	16.88
	2 kat	39.78	$\uparrow 728.75$	A*	1.65	37.40	41.10	4.15
$\parallel 85^\circ$	Kontrol	10.60	-	C**	0.29	10.20	10.90	2.74
	1 kat	27.90	$\uparrow 163.21$	B	2.25	25.40	31.10	8.05
	2 kat	48.16	$\uparrow 354.34$	A*	1.65	45.80	49.70	3.42

Ölçüm sayısı: 10, Homojenlik Grubu sütunu için *: En yüksek değer, **: En düşük değer

Beyazlık indeksi (WI^*) için sonuçlar Çizelge 7’de gösterilmektedir. Her iki kat uygulaması ile WI^* değerlerinde (her iki yönde) azalışlar (\perp : 1 kat için %54.37 ve 2 kat için %60.84 ve \parallel : 1 kat için %95.92 ve 2 kat için %97.82) bulunmuştur. En yüksek sonuçlar kontrol deney örneklerinde tespit edilmiştir (\parallel için 7.35 ve \perp için 10.52). En düşük sonuçlar ise 2 kat vernik uygulamasına sahip örneklerde elde edilmiştir (\parallel için 4.12 ve \perp için 0.16) (Çizelge 7).

Çizelge 7. Beyazlık indeksi (WI^*) ölçüm sonuçları

Test	Uygulama Sonrası	Ortalama	Değişim (%)	Homojenlik Grubu	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı
$WI^* \perp$	Kontrol	10.52	-	A*	0.23	10.30	10.80	2.23
	1 kat	4.80	$\downarrow 54.37$	B	0.28	4.40	5.10	5.89
	2 kat	4.12	$\downarrow 60.84$	C**	0.20	4.00	4.50	4.96
$WI^* \parallel$	Kontrol	7.35	-	A*	0.14	7.00	7.50	1.95
	1 kat	0.30	$\downarrow 95.92$	B	0.09	0.20	0.40	31.43
	2 kat	0.16	$\downarrow 97.82$	C**	0.05	0.10	0.20	32.27

Ölçüm sayısı: 10, Homojenlik Grubu sütunu için *: En yüksek değer, **: En düşük değer

4. Sonuçlar ve Öneriler

ΔE^* değerleri 1 kat ile 10.31 ve 2 kat ile 11.56 olarak elde edilmiştir. Vernik uygulamaları sonrasında kontrol örneklerine kıyasla b^* , C^* , a^* parametreleri, bütün derecelerde ve yönlerdeki parlaklık değerlerinde artışlar bulunurken, L^* ve h^0 değerleri ile her iki yöndeki WI^* değerlerinde azalışlar görülmüştür.

Elde edilen malzemeler üzerinde ıslanabilirlik, çizilme, pandüllü sertlik, yüzeye yapışma testlerini yapılması önerilmektedir.

Kaynaklar

- ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation or color tolerances and color, differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM E313-15e1, (2015). Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Bhat, K.M., and Ma, H.O., (2004). Teak growers unite! ITTO Trop For Update 14: 3-5.
- Carrasco, T.E.N., (2007). Efecto del lijado sobre madera de *Pinus radiata* D. Don en los niveles de consumo de barnices.
- de Paula, M.H., Rossi Silva de Mesquita, R., Costa, M.D.A., Gonçalves, J.C., Ananías, R.A., and Janin, G., (2020). Effect of applying finishing products and sanding on the surface of marupa wood. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 22(1): 45-54. DOI: 10.4067/S0718-221X2020005000105.
- DIN 5033, (1979). Deutsche Normen, Farbmessung, Normenausschuß Farbe (FNF) im DIN Deutsches Institut für Normung eV, Beuth, Berlin März.
- Francis, J.K., Lowe, C.A., and Trabanino, S., (2000). Bioecología de árboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales (pp. 371-376). Río Piedras, Puerto Rico: US Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry.
- ISO 2813, (1994). Paints and varnishes - determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 554, (1976). Standard atmospheres for conditioning and/or testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- Kuete, V., (2017). Medicinal spices and vegetables from Africa: therapeutic potential against metabolic, inflammatory, infectious and systemic diseases, Cambridge, MA: Academic Press; p. 222.
- Lange, D.R., (1999). Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e. DR Lange: New York, NY, USA.
- Rivera, V.H.R.D., (2016). Pruebas de resistencia de películas aplicadas de acabados de la madera de 4 empresas de barnices de México (Tesis de maestría). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Morelia, Michoacán.
- Rodríguez, R.A., (2012). Influencias de los barnices incoloros en las propiedades superficiales de las maderas de construcción, Polytechnic University of Madrid, Doctoral dissertation, Arquitectura.
- Roffael, E., and Schneider, T., (1993). Investigation on partial substitution of strands in oriented strand boards (OSB) by different lignocellulosic raw materials, Institute for Wood Biology and Wood Technology, Georg August University of Göttingen Busgenweg.
- Segura, J.M., (1992). Tintes para Madera. Tesina Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. 44 pp.
- Singh, U., Wadhvani, A.M., and Johri, B.M., (1983). Dictionary of economic plants in India.
- Verhaegen, D., Fofana, I.J., Logossa, Z.A., and Ofori, D., (2010). What is the genetic origin of teak (*Tectona grandis* L.) introduced in Africa and in Indonesia?. *Tree Genetics & Genomes*, 6: 717-733. DOI: 10.1007/s11295-010-0286-x.
- Vyas, P., Yadav, D.K., and Khandelwal, P., (2019). *Tectona grandis* (teak) - A review on its phytochemical and therapeutic potential, *Natural Product Research*, 33(16): 2338-2354. DOI: 10.1080/14786419.2018.1440217.

Malta Eriği (*Eriobotrya japonica* L.) Ahşabına Balmumu Uygulanması

Doç. Dr. Göksel ULAY¹, Doç. Dr. Ümit AYATA²

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Van Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojisi Bölümü, Mobilya Dekorasyon Programı, Van, Türkiye, g.ulay@yyu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4080-8816,

²Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt, Türkiye,

Sorumlu yazar: umitayata@yandex.com ORCID ID: 0000-0002-6787-7822

Özet

Bu çalışmada, Malta eriği (*Eriobotrya japonica* L.) ahşabına balmumu uygulanması (1, 2 ve 3 kat olarak bir fırçayla) ile meydana gelen renk parametreleri [sarı (b^*) renk tonu, kroma (C^*) değeri, ışıklılık (L^*) değeri, kırmızı (a^*) renk tonu ve ton (h°) açısı değeri], beyazlık indeksi (WI^*) ve parlaklık değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Sonuçlara göre varyans analizleri bütün testler için anlamlı bir şekilde bulunmuştur. ΔE^* değerleri 1 kat uygulama ile 2.39, 2 kat uygulama ile 3.24 ve 3 kat uygulama ile 4.68 olarak elde edilmiştir. WI^* değerlerde kat sayısını artması ile her iki yönlerde azalışlar elde edilmiştir. Bütün derece ve yönlerdeki yapılan parlaklık değerlerinde balmumu uygulamaları tarafından artışlar tespit edilmiştir. Renk parametrelerinde L^* ve h° değerlerinde azalışlar belirlenirken, C^* , b^* ve a^* değerlerinde artışlar bulunmuştur. Balmumu uygulamaları ile ahşaba ait optik özelliklerinde değişiklikler elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Beyazlık indeksi, Balmumu, Renk, Malta eriği, Parlaklık

Application of Wax on Loquat (*Eriobotrya japonica* L.) Wood

Abstract

In this study, changes in color parameters [yellow (b^*) color tone, chroma (C^*), lightness (L^*), red (a^*) color tone, and hue angle (h°)], whiteness index (WI^*), and gloss values resulting from the application of wax (1, 2, and 3 coats applied with a brush) to loquat (*Eriobotrya japonica* L.) wood were investigated. According to the results, variance analyses were found to be significant for all tests. The ΔE^* values were obtained as 2.39 for 1 coat, 3.24 for 2 coats, and 4.68 for 3 coats of application. WI^* values decreased in both directions with an increasing number of coats. In all glossiness measurements across different degrees and directions, increases were observed due to wax applications. While decreases were identified in L^* and h° values among the color parameters, increases were observed in C^* , b^* , and a^* values. Optical properties of the wood were altered through wax applications.

Keywords: Whiteness index, Wax, Color, Loquat, Glossiness

1. Giriş

Ahşap, kendine özgü özellikleri nedeniyle zamanın başlangıcından beri bir bina, ev ve diğer yapılar, mobilya, alet, araç ve süs eşyası olarak kullanılmıştır. Yoğun ahşap türleri genellikle sert ve güçlüdür. Mukavemet terimi bir dizi farklı özelliği kapsamaktadır. Mukavemet ve lif yönüne göre büyük ölçüde değişir. Ahşap, lif boyunca kesildiğinde olduğundan çok daha güçlü olmaktadır (Mohammed ve ark., 2022; Majeed ve Hussein, 2024).

Balmumu, aşırı ısınmış olması nedeniyle koyu renkli ise, değeri çok daha düşüktür. En kaliteli balmumu, balmumu kapaklarından gelir, yani arıların olgun petekleri kaplamak için kullandığı balmumu mühür, çünkü bu taze “orijinal balmumunu” saf ve beyaz renklidir. Geçmişte, balmumu beyazlatmak yaygındı (sülfürik asit veya hidrojen peroksit gibi ağartıcılar kullanılarak), ancak bu uygulama artık gereksiz ve doğal balmumu için zararlı olarak kabul edilmektedir (Bradbear, 2009).

Yeni oluşturulan balmumu başlangıçta beyaz olup ve daha sonra sarıya dönüştüğü bildirilmiştir. Bu altın renk tonunu oluşturmak için propolis ve polen boyaları kullanılmaktadır. Balmumu olağandışı bir kokuya sahiptir ve arılar, bal, propolis ve polenden oluşur. Balmumu kokusu tatlı, sıcak ve balsamik bir özellik taşır, bal aromasıyla gurme bir üründür ve çok talep edilir (Gupta ve Anjali, 2023).

Balmumu özellikle zemin ve banyo duvarlarının işlenmesi için uygundur. Kerestede çatlakları ve gözenekleri doldurmaktadır ve haşerelerin yumurta bırakmasını önlemektedir. Balmumu genellikle mineral ispirto veya terebentin içinde çözülür ve keten tohumu yağı ile inceltilir. Toprak veya mineral pigmentlerle renklendirilebilir. Balmumu temizlenmesi kolaydır. Ancak suya karşı fazla direnci yoktur. Bu nedenle daha dayanıklı yüzeyler önce yağ ile doyurulmalıdır. Balmumu, üretiminde veya kullanımında hiçbir sorun yaratmayan yenilenebilir bir kaynaktır. Organik çözücüler uygulama sırasında bir sağlık riski oluşturacaktır ve hatta uygulamadan kısa bir süre sonra iç mekân ortamında sorunlara neden olabilmektedir. İşlenmiş malzemelerin yeniden kullanılması, geri dönüştürülmesi, enerji geri dönüştürülmesi ve kompostlanması veya dökülmesi hiçbir sorun yaratmaz (Berge, 2009).

Malta eriği (*Eriobotrya japonica* Lindl.) *Rosaceae* (gülğiller) familyasına ait olup, az sayıdaki subtropikal temsilcilerden biridir. Muhtemelen güneydoğu Çin kökenlidir ve eski zamanlardan beri Çin ve Japonya’da yetiştirilmektedir. Günümüzde ise Avustralya, Akdeniz bölgesi, Güney Amerika, Güney Afrika, Kaliforniya ve Hindistan gibi diğer bölgelerde de yetiştirilmektedir. Bitki, dar yapraklı, her dem yeşil bir çalı veya küçük bir ağaçtır. Yapraklarının üst yüzeyi koyu yeşil, alt yüzeyi ise açık renkli ve tüylüdür. Beyaz çiçekleri, soluk sarıdan koyu turuncuya kadar değişebilen pomlar oluşturmaktadır (Vaughan ve Geissler, 1997; Ferreres ve ark., 2009).

Diğer *pomaceous* (çekirdekli meyve) türlerinden farklı olarak, Malta eriğinin üreme gelişimi, kış dinlenme dönemiyle kesintiye uğramayan sürekli bir süreçtir. Bu nedenle, tomurcukları gerçek anlamda dormansi göstermez ve soğuklama ihtiyacı duymaz. Apikal meristem bu özelliğiyle sürekli büyüyerek düzenli olarak sonbaharda çiçek açan ve meyve veren bir salkıma dönüşür, meyve kış boyunca gelişir ve ilkbaharda olgunlaşır (Lin ve ark., 1999; Reig ve ark., 2017).

Bu çalışmada, Malta eriği (*Eriobotrya japonica* L.) ahşabına balmumu uygulanması ile meydana gelen renk parametreleri, beyazlık indeksi (WI^*) ve parlaklık değerlerindeki değişimler belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Malta eriği (*Eriobotrya japonica* L.) odunu 100 mm x 100 mm x 20 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Daha sonra iklimlendirme işlemleri yapılmıştır (ISO 554, 1976). Çalışmada, doğal ve sentetik balmumlarının karışımına sahip yağ kullanılmıştır. Bu yağ ahşap malzeme yüzeylerine 1, 2 ve 3 kat olarak bir fırça ile uygulanmıştır. Beyazlık indeksi (WI^*) değerleri ASTM E313-15e1, (2015) ve parlaklık testleri ISO 2813, (1994) standardı ile tespit edilmiştir. Renk değişimi, ASTM D 2244-3, (2007) standardı ile belirlenmiştir. Toplam renk farklılıkları aşağıda verilen formüller ile belirlenmiştir.

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{işlemlenmiş deney örneği}} - a^*_{\text{referans}}) \quad (1)$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{işlemlenmiş deney örneği}} - L^*_{\text{referans}}) \quad (2)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{işlemlenmiş deney örneği}} - b^*_{\text{referans}}) \quad (3)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (4)$$

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (5)$$

$$h^{\circ} = \arctan (b^*/a^*) \quad (6)$$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (7)$$

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{işlemlenmiş deney örneği}} - C^*_{\text{referans}}) \quad (8)$$

ΔC^* , doygunluk farkı veya kroma kısmı ile ΔH^* ise gölge farkı veya ton bölümü şeklinde ifade edilmiştir. Diğer parametreleri için bilgiler Çizelge 1’de sunulmuştur (Lange, 1999). ΔE^* için kriterler (DIN 5033, 1979) Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Δa^* , ΔL^* , Δb^* ve ΔC^* değerleri için bilgiler (Lange, 1999)

Pozitif durumda	Parametre	Negatif durumda
Referanstan daha açık	ΔL^*	Referanstan daha koyu
Referanstan daha kırmızı	Δa^*	Referanstan daha yeşil
Referanstan daha sarı	Δb^*	Referanstan daha mavi
Referanstan daha net, daha parlak	ΔC^*	Mat, referanstan daha bulanık

Çizelge 2. ΔE^* değerlendirmesi için kıyaslama kriterleri (DIN 5033, 1979)

ΔE^*	Görsel fark	ΔE^*	Görsel fark
<0.20	Algılanamaz	3.00 ila 6.00	Çok belirgin
0.20 ila 0.50	Çok zayıf	6.00 ila 12.00	Güçlü
0.50 ila 1.50	Zayıf	> 12.00	Çok güçlü
1.50 ila 3.00	Belirgin		

Varyans analizleri, standart maksimum ve minimum ölçümler, sapmaları, ortalamalar, % değişim oranları ve homojenlik grupları bir istatistik programı hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Varyans analizi sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir. Bütün testler için uygulanan balmumu kat sayısı faktörünün anlamlı olarak elde edildiği görülmüştür (Çizelge 3).

Çizelge 3. Varyans analizi sonuçları (*: anlamlı)

Test	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
L^*	97.094	3	32.365	343.466	0.000*
a^*	16.641	3	5.547	123.685	0.000*
b^*	6.117	3	2.039	65.796	0.000*
C^*	16.587	3	5.529	99.770	0.000*
h°	49.933	3	16.644	19.364	0.000*
$\perp 20^{\circ}$ parlaklık	1.783	3	0.594	211.812	0.000*
$\perp 60^{\circ}$ parlaklık	78.366	3	26.122	340.969	0.000*

185° parlaklık	336.323	3	112.108	370.774	0.000*
20° parlaklık	1.329	3	0.443	64.036	0.000*
60° parlaklık	140.759	3	46.920	249.831	0.000*
85° parlaklık	468.179	3	156.060	174.368	0.000*
WI* (⊥)	138.903	3	46.301	1261.796	0.000*
WI* ()	90.851	3	30.284	177.328	0.000*

Renk ölçümleri için sonuçlar Çizelge 4’de verilmiştir.

Balmumu uygulamalarında kat sayısının artması ile L^* değerlerinde azalmalar (1 kat için %3.83, 2 kat için %4.95 ve 3 kat için %6.93) belirlenmiştir. En yüksek sonuç L^* değerinde kontrol örneğinde (61.60) ve en düşük sonuç ise 3 kat uygulanmış örneklerde (57.33) belirlenmiştir (Çizelge 4).

h^o değerlerinde en yüksek sonuç değerinde kontrol örneğinde (60.00) ve en düşük sonuç ise 3 kat uygulanmış örneklerde (56.97) bulunmuştur. Balmumu uygulamaları ile h^o değerlerinde azalmalar (1 kat için %2.15, 2 kat için %1.25 ve 3 kat için %5.05) tespit edilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Renk ölçümleri için sonuçlar

Test	Balmumu Uygulaması	Ortalama	Değişim (%)	HG	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı
L^*	Kontrol	61.60	-	A*	0.28	60.94	61.86	0.46
	1 kat	59.24	↓3.83	B	0.22	58.77	59.43	0.38
	2 kat	58.55	↓4.95	C	0.32	57.86	58.95	0.55
	3 kat	57.33	↓6.93	D**	0.38	56.54	57.70	0.67
a^*	Kontrol	9.51	-	D**	0.19	9.14	9.76	2.02
	1 kat	9.84	↑3.47	C	0.25	9.38	10.14	2.52
	2 kat	10.26	↑7.89	B	0.24	9.72	10.49	2.35
	3 kat	11.23	↑18.09	A*	0.15	10.95	11.47	1.34
b^*	Kontrol	16.47	-	B**	0.22	16.18	16.82	1.35
	1 kat	16.48	↑0.06	B	0.19	16.21	16.76	1.12
	2 kat	17.25	↑4.74	A	0.16	17.06	17.51	0.92
	3 kat	17.27	↑4.86	A	0.12	17.06	17.41	0.71
C^*	Kontrol	19.02	-	C**	0.27	18.69	19.44	1.42
	1 kat	19.19	↑0.89	C	0.26	18.73	19.59	1.36
	2 kat	20.08	↑5.57	B	0.24	19.76	20.40	1.18
	3 kat	20.59	↑8.25	A*	0.16	20.32	20.77	0.77
h^o	Kontrol	60.00	-	A*	0.34	59.54	60.71	0.57
	1 kat	58.71	↓2.15	B	1.73	53.97	59.94	2.95
	2 kat	59.25	↓1.25	AB	0.48	58.88	60.53	0.81
	3 kat	56.97	↓5.05	C**	0.32	56.39	57.55	0.56

HG: Homojenlik Grubu, Ölçüm Sayısı: 10, *: En yüksek değer, **: En düşük değer

a^* parametresinde balmumu uygulamalarında kat sayısının artması ile artışlar (1 kat için %3.47, 2 kat için %7.89 ve 3 kat için %18.09) elde edilmiştir. a^* parametresinde en düşük sonuç kontrol örneğinde (9.51) ve en yüksek sonuç ise 3 kat uygulanmış örneklerde (11.23) görülmüştür (Çizelge 4).

b^* değerinde en düşük sonuç kontrol örneğinde (16.47) ve en yüksek sonuç ise 3 kat uygulanmış örneklerde (17.27) elde edilmiştir. Balmumu uygulamalarında kat sayısının artması ile b^* değerlerinde artışlar (1 kat için %0.06, 2 kat için %4.74 ve 3 kat için %4.86) görülmüştür (Çizelge 4).

C^* parametresinde balmumu uygulamalarında kat sayısının artması ile artışlar (1 kat için %0.89, 2 kat için %5.57 ve 3 kat için %8.25) bulunmuştur. C^* değerinde en düşük sonuç kontrol örneğinde (19.02) ve en yüksek sonuç ise 3 kat uygulanmış örneklerde (20.59) tespit edilmiştir (Çizelge 4).

Toplam renk farklılıkları için sonuçlar Çizelge 5’de sunulmaktadır. ΔE^* değerleri 1 kat uygulama ile 2.39, 2 kat uygulama ile 3.24 ve 3 kat uygulama ile 4.68 olarak bulunmuştur. ΔH^* değerleri 1 kat uygulama ile 0.29, 2 kat uygulama ile 0.25 ve 3 kat uygulama ile 1.05 olarak elde edilmiştir. Renk kriteri (DIN 5033, 1979) ile sonuçlara bakıldığında 1 kat uygulama ile “belirgin (1.50 ila 3.00)” ve 2 ile 3 katlara ait uygulamalar ile de “çok belirgin (3.00 ila 6.00)” kriteri şeklinde bulunmuşlardır. Bütün kat uygulamaları ile Δa^* , Δb^* ve ΔC^* değerleri pozitif (sırası ile referanstan daha kırmızı, referanstan daha sarı ve referanstan daha net, daha parlak) olarak bulunurken, ΔL^* negatif (referanstan daha koyu) olarak elde edilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Toplam renk farklılıkları için sonuçlar

Balmumu Uygulaması	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔE^*	Renk kriteri (DIN 5033, 1979)
1 kat	-2.37	0.33	0.01	0.17	0.29	2.39	Belirgin (1.50 ila 3.00)
2 kat	-3.06	0.75	0.78	1.06	0.25	3.24	Çok belirgin (3.00 ila 6.00)
3 kat	-4.28	1.72	0.79	1.57	1.05	4.68	

Beyazlık indeksi (WI^*) değerleri için sonuçlar Çizelge 6’de gösterilmiştir.

$WI^* \perp$ değerleri için balmumu uygulamalarında kat sayısının artması ile azalışlar (1 kat için %10.49, 2 kat için %17.36 ve 3 kat için %23.26) bulunmuştur. $WI^* \perp$ değerleri için en yüksek sonuç kontrol örneğinde (21.54) ve en düşük sonuç ise 3 kat uygulanmış örneklerde (16.53) tespit edilmiştir (Çizelge 6).

$WI^* \parallel$ değerleri için balmumu uygulamalarında kat sayısının artması ile azalışlar (1 kat için %9.65, 2 kat için %18.71 ve 3 kat için %23.48) görülmüştür. $WI^* \parallel$ değerleri için en yüksek sonuç kontrol örneğinde (16.78) ve en düşük sonuç ise 3 kat uygulanmış örneklerde (12.84) elde edilmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Beyazlık indeksi (WI^*) değerleri için sonuçlar

Test	Balmumu Uygulaması	Orta-lama	Değişim (%)	HG	Standart Sapma	Mini-mum	Maksi-mum	Varyasyon Katsayısı
$WI^* \perp$	Kontrol	21.54	-	A*	0.11	21.40	21.70	0.50
	1 kat	19.28	↓10.49	B	0.14	19.10	19.50	0.73
	2 kat	17.80	↓17.36	C	0.12	17.60	17.90	0.65
	3 kat	16.53	↓23.26	D**	0.32	16.10	16.80	1.94
$WI^* \parallel$	Kontrol	16.78	-	A*	0.57	16.00	17.50	3.38
	1 kat	15.16	↓9.65	B	0.40	14.60	15.50	2.66
	2 kat	13.64	↓18.71	C	0.43	13.20	14.10	3.13
	3 kat	12.84	↓23.48	D**	0.13	12.70	13.00	0.99

HG: Homojenlik Grubu, Ölçüm Sayısı: 10, *: En yüksek değer, **: En düşük değer

Parlaklık değerleri için sonuçlar Çizelge 7’de verilmiştir. Bütün derece ve yönlerdeki yapılan parlaklık değerlerinde balmumu uygulamaları tarafından artışların elde edildiği görülmektedir. En düşük sonuçlar kontrol örneklerinde ($\perp 20^\circ$: 0.38, $\perp 60^\circ$: 2.72, $\perp 85^\circ$: 0.64 ve $\parallel 20^\circ$: 0.40, $\parallel 60^\circ$: 2.52, $\parallel 85^\circ$: 3.78) belirlenmiştir. En yüksek sonuçlar ise 3 kat balmumu uygulamasına ait örnekler üzerinde ($\perp 20^\circ$: 0.94, $\perp 60^\circ$: 6.62, $\perp 85^\circ$: 8.22 ve $\parallel 20^\circ$: 0.86, $\parallel 60^\circ$: 7.54, $\parallel 85^\circ$: 12.78) bulunmuştur (Çizelge 7).

Çizelge 7. Parlaklık değerleri için sonuçlar

Test	Balmumu Uygulaması	Orta-lama	Değişim (%)	HG	Standart Sapma	Mini-mum	Maksi-mum	Varyasyon Katsayısı
$\perp 20^\circ$	Kontrol	0.38	-	C**	0.04	0.30	0.40	11.10
	1 kat	0.50	↑31.58	B	0.00	0.50	0.50	0.00
	2 kat	0.53	↑39.47	B	0.05	0.50	0.60	9.11

⊥60°	3 kat	0.94	↑147.37	A*	0.08	0.80	1.00	8.97
	Kontrol	2.72	-	D**	0.44	2.20	3.30	16.24
	1 kat	4.35	↑59.93	C	0.14	4.20	4.50	3.11
	2 kat	5.03	↑84.93	B	0.21	4.80	5.30	4.09
⊥85°	3 kat	6.62	↑143.38	A*	0.23	6.30	6.90	3.40
	Kontrol	0.64	-	C**	0.08	0.50	0.70	13.18
	1 kat	6.49	↑914.06	B	0.99	5.50	7.80	15.24
	2 kat	6.78	↑959.38	B	0.19	6.60	7.10	2.76
∥20°	3 kat	8.22	↑1184.38	A*	0.43	7.80	9.00	5.28
	Kontrol	0.40	-	D**	0.00	0.40	0.40	0.00
	1 kat	0.54	↑35.00	C	0.05	0.50	0.60	9.56
	2 kat	0.77	↑92.50	B	0.12	0.60	0.90	15.06
∥60°	3 kat	0.86	↑115.00	A*	0.11	0.70	1.00	12.50
	Kontrol	2.52	-	D**	0.10	2.40	2.60	4.10
	1 kat	4.48	↑77.78	C	0.41	4.00	4.80	9.22
	2 kat	6.15	↑144.05	B	0.56	5.50	6.80	9.05
∥85°	3 kat	7.54	↑199.21	A*	0.51	6.90	8.30	6.77
	Kontrol	3.78	-	D**	0.19	3.50	3.90	5.11
	1 kat	7.96	↑110.58	C	1.10	6.70	8.90	13.82
	2 kat	11.06	↑192.59	B	0.74	9.80	11.80	6.70
	3 kat	12.78	↑238.10	A*	1.34	11.10	14.10	10.45
HG: Homojenlik Grubu, Ölçüm Sayısı: 10, *: En yüksek değer, **: En düşük değer								

4. Sonuçlar ve Öneriler

- Kat sayısını artması ile her iki yönlerdeki WI^* değerlerinde azalışlar bulunmuştur.
- Bütün derece ve yönlerdeki yapılan parlaklık değerlerinde balmumu uygulamaları tarafından artışlar görülmüştür.

Renk parametrelerinde L^* ve h^0 değerlerinde azalışlar görülürken, b^* , C^* ve a^* değerlerinde artışlar tespit edilmiştir.

- Mumla kaplı örnekler üzerinde yaşlandırma uygulamalarının yapılması önerilmektedir.

Kaynaklar

ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation or color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM E313-15e1, (2015). Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Berge, B., (2009). Ecology of Building Materials. Routledge, Architectural Press is an imprint of Elsevier. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK; 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA. ISBN: 978-1-85617-537-1.

Bradbeer, N., (2009). Bees and their role in forest livelihoods: a guide to the services provided by bees and the sustainable harvesting, processing and marketing of their products. Non-Wood Forest Products, (19): 192 pages.

DIN 5033, (1979). Deutsche Normen, Farbmessung. Normenausschuß Farbe (FNF) im DIN Deutsches Institut für Normung eV, Beuth, Berlin März.

Ferreres, F., Gomes, D., Valentão, P., Gonçalves, R., Pio, R., Chagas, E.A., Seabra, R.M., and Andrade, P.B., (2009). Improved loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) cultivars: Variation of phenolics and antioxidative potential. Food Chemistry, 114(3): 1019-1027. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.10.065.

- Gupta, G., and Anjali, K., (2023). Environmentally Friendly Beeswax: Properties, Composition, Adulteration, and its Therapeutic Benefits. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1110(1): 012041. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/1110/1/012041.
- ISO 2813, (1994). Paints and varnishes - determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 554, (1976). Standard atmospheres for conditioning and/or testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- Lange, D.R., (1999). Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e. DR Lange: New York, NY, USA.
- Lin, S.Q., (2007). World loquat production and research with special reference to China. In II International Symposium on Loquat 750 (pp. 37-44).
- Majeed, M.K., and Hussein, S.I., (2024). Adhesion, roughness, wettability, and dielectric strength of elastomers liquid bends for high-density fiberboard wood adhesive, Ibn Al-Haitham Journal For Pure and Applied Sciences, 37(1): 175-186. DOI: 10.30526/37.1.3346.
- Mohammed, M.A., Mohammed, A.J., Abbas, F.A., (2022). Study and evaluation of rock wool board by using PVA/PU as a polymer blend binder, Iraqi Journal of Science, 4282-4291.
- Reig, C., Gil-Muñoz, F., Vera-Sirera, F., García-Lorca, A., Martínez-Fuentes, A., Mesejo, C., Pe´rez-Amador, M.A., and Agustí, M., (2017). Bud sprouting and floral induction and expression of FT in loquat [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.], *Planta*, 246: 915-925. DOI: 10.1007/s00425-017-2740-6.
- Vaughan, J., and Geissler, C., (2009). The new Oxford book of food plants. OUP Oxford.

DEPREM RİSKİYLE MÜCADELEDE STRATEJİK BİR YAKLAŞIM: GÜVENLİ YAPILAR ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME

Özge KENAR

Sakarya Üniversitesi/Uluslararası İlişkiler
nisankenar@gmail.com - 0009-0005-7580-8519

Günay BEYHAN

Sakarya Üniversitesi/Jeofizik Mühendisliği,
gbeyhan@sakarya.edu.tr- 0000-0003-1341-9049

ÖZET

Son yıllarda, doğa olaylarına “doğal afet- yanlış ifade” karşı alınan önlemler kapsamında deprem önceden haber verme sistemlerine yapılan yatırımlar artış göstermiştir. Ancak, bu sistemlerin etkinliği tartışmalı bir konu olarak gündemde kalmaktadır. Bu çalışma, deprem önceden haber verme sistemlerine harcanan kaynakların daha etkili bir şekilde güvenli yapıların inşasına yönlendirilmesi gerektiğini savunmaktadır. Güvenli yapılar, modern mühendislik uygulamalarıyla tasarlanmış, doğa ile iç içe ve deprem gibi doğa olaylarına dirençli binalardır. Bu yapılar, insan hayatını korumak ve ekonomik kayıpları en aza indirmek için kritik öneme sahiptir. Depremler sırasında güvenli yapıların sağladığı koruma, erken uyarı sistemlerinin sunduğu zaman diliminden çok daha değerlidir. Çalışma çerçevesinde şu araştırma soruları ele alınacaktır: Deprem önceden haber verme çalışmaları yerine neden güvenli yapılar yapmalıyız? Güvenli yapıların inşa edilmesinin toplumsal etkileri neler olabilir? Farklı ülkelerde güvenli yapıların inşasına yapılan yatırımların, deprem riskine karşı dayanıklılığı nasıl artırdığına dair örnekler nelerdir? Çalışmanın amacı, güvenli yapıların inşası ile ilgili uluslararası uygulamaların detaylı bir değerlendirmesini sunarak, bu alandaki en iyi uygulamaları belirlemeyi hedeflemektedir. Bu çalışma, politika yapımcılar, mühendisler ve afet yönetimi uzmanları için önemli bilgiler sunmayı amaçlamaktadır. Çalışmanın yöntemi nitel araştırma kapsamında, literatür taraması ve örnek olay analizi yöntemlerini içermektedir. Çalışma, deprem önceden haber verme sistemlerinin sınırlı faydalarını ve güvenli yapıların avantajlarını karşılaştırarak, mevcut harcamaların yeniden değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle, güvenli yapıların oluşturulmasıyla birlikte toplumların deprem riskine karşı dayanıklılıklarının artırılacağı ve bu durumun uzun vadede daha sürdürülebilir bir çözüm sunacağı vurgulanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Deprem Kestimi, Maliyet, Afet, Risk, Yapı güvenliği.

ABSTRACT

In recent years, investments in earthquake forewarning systems have increased as part of the measures taken against natural phenomena “natural disaster - false statement”. However, the effectiveness of these systems remains a controversial issue. This study argues that the resources spent on earthquake forecasting systems should be more effectively directed towards the construction of safe structures. Safe structures are buildings designed with modern engineering practices, intertwined with nature and resilient to natural phenomena such as earthquakes. These structures are critical for protecting human life and minimizing economic losses. The protection provided by safe structures during earthquakes is much more valuable than the time frame offered by early warning systems. The following research questions will be addressed within the framework of the study: Why should we build safe structures instead of trying to foretell earthquakes? What are the societal impacts of building safe structures? What are examples of how investments in building safe structures in different countries have increased resilience to earthquake risk? The aim of the study is to provide a detailed review of international practices related to the construction of safe structures and to identify best practices in this field. This study aims to provide important information for policy makers, engineers and disaster management professionals. The methodology of the study is qualitative and includes literature review and case study analysis. By comparing the limited benefits of earthquake forewarning systems and the advantages of safe structures, the study reveals that current expenditures should be re-evaluated. In particular, it will be emphasized that the creation of safe structures can increase the resilience of societies against earthquake risk and provide a more sustainable solution in the long run.

Keywords: Earthquake Shortcut, Cost, Disaster, Risk, Building safety.

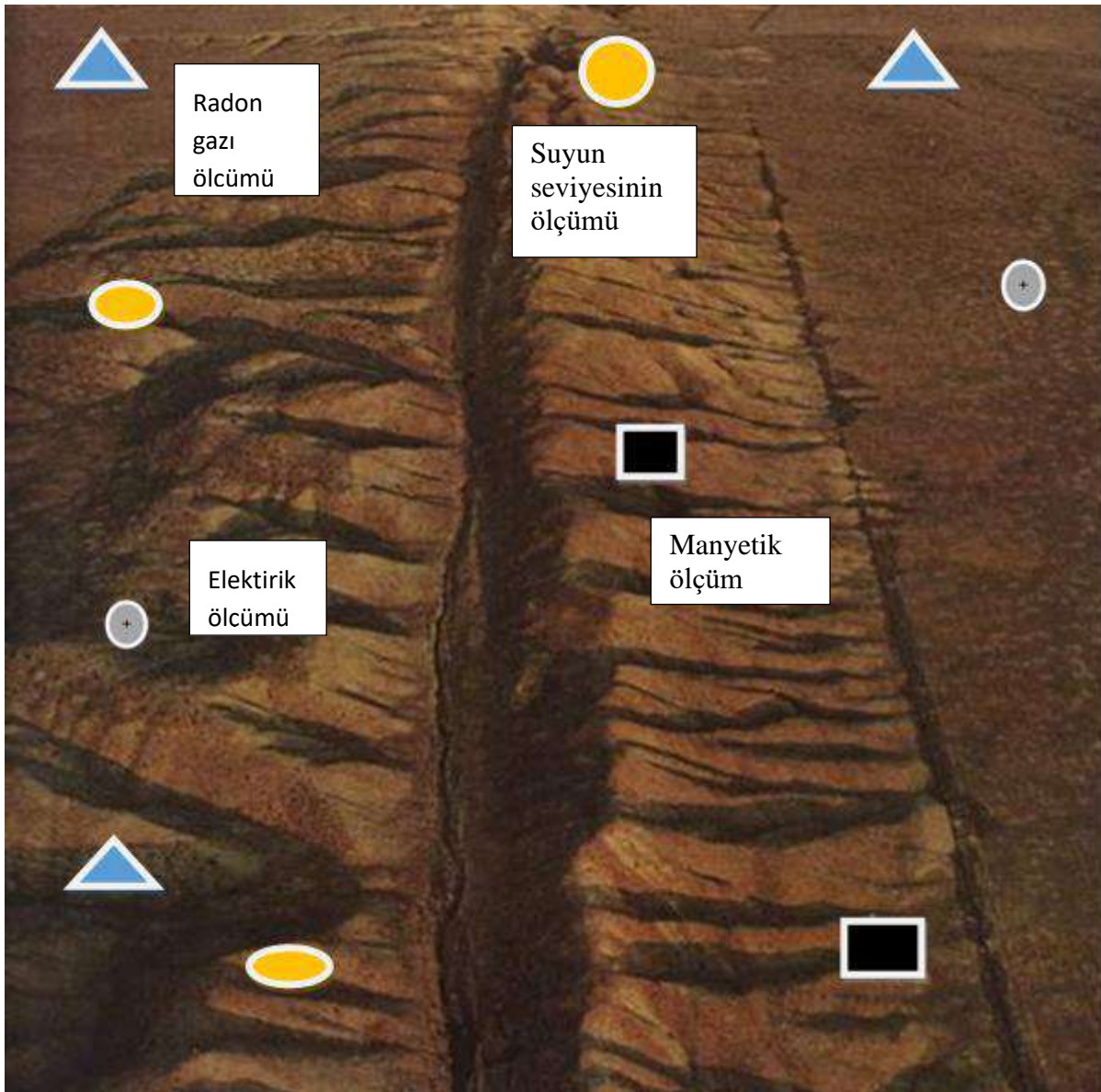
1. GİRİŞ

Depremler, doğanın kaçınılmaz gerçeklerinden biridir ve tarih boyunca insan toplulukları üzerinde derin etkiler bırakmıştır. Örneğin 2010 Haiti depremi, 200.000'den fazla insanın hayatını kaybetmesine ve birçok insanın evsiz kalmasına neden olmuştur. Ancak bu etkiler, insanların alınabilecek önlemler konusundaki seçimleriyle önemli ölçüde azaltılabilir. Son yıllarda, deprem önceden haber verme sistemlerine yönelik teknolojik yatırımlar artış göstermiş ve bu sistemler, belirli bir zaman dilimi içerisinde deprem uyarısı sunarak hayat kurtarmaya yönelik çözümler olarak tanıtılmıştır. Ancak, bu sistemlerin etkililiği ve ekonomik riskleri tartışmaya açıktır. Özellikle kırsal kesimlerde ve gelişmekte olan ülkelerde, bu teknolojilerin uygulanabilirliği, altyapı eksiklikleri ve finansal yük nedeniyle sınırlı kalmaktadır.

Bu bağlamda, çalışmanın temel argümanı, deprem önceden haber verme sistemlerine ayrılan kaynakların, daha etkili ve uzun vadeli çözümler sunan güvenli yapıların inşasına yönlendirilmesi gerektiğidir. Güvenli yapılar, modern mühendislik teknikleri kullanılarak tasarlanan ve yerel çevre şartlarına uygun malzemelerle inşa edilen binaları ifade eder. Bu

yapılar, deprem gibi doğa olaylarına dirençli olmanın yanı sıra, insanların yaşam kalitesini artıracak biçimde doğa ile uyumlu bir şekilde inşa edilmelidir.

Dünyanın farklı bölgelerinde bu konuyla ilgili uygulamalar, güvenli yapıların önemini gözler önüne sermektedir. Örneğin, Çin'de kırsal alanlarda deprem dayanıklı konut projeleri hayata geçirilirken, Hindistan'da yerel malzemelerle ekonomik ve dayanıklı yapılar inşa edilmektedir. Rusya ise sert iklim koşullarına uygun, deprem dayanıklı tasarımlarıyla dikkat çekmektedir (jmo.org:2024). Türkiye gibi deprem riski yüksek ülkelerde ise yedi bölgeye özgü iklim ve zemin koşulları dikkate alınarak, güvenli ve çevre dostu yapıların inşa edilmesi önem kazanmaktadır. Ayrıca, güvenli yapıların temel özelliklerinden biri de çevresel uyumdur. Doğa ile iç içe bir yaşam alanı sunan bu yapılar, hem deprem gibi felaketlere dayanıklı hem de estetik açıdan tatmin edici bir yaklaşım sunar. Bölgeye özgü şartlar dikkate alınmadan yapılan tasarımlar, ne yazık ki beklenen dayanıklılığı ve faydayı sunamayacaktır.



Şekil 1: Yanal Atımlı Fay Morfolojisi Örneği, 2024-1.

Bu çalışma, deprem önceden haber verme sistemleri ile güvenli yapılar arasındaki farklılıkları ve güvenli yapıların uzun vadede daha etkili bir yatırım olduğunu vurgulamaktadır. Bunun yanında, hem bireylerin hem de toplulukların yaşam kalitesini artıracak uygulamaları ön plana çıkarmayı amaçlamaktadır.

Depremlerin önceden haber alınması konusunda çeşitli yöntemler ve gözlemler (**yeraltı su seviyesindeki değişimler, radon gazı konsantrasyonu, manyetik ve elektrik anomalilerdeki değişimler, tittleşme, krip olayı, yerkürede meydana gelen deformasyonlar, sismik p dalgası hızı değişimi, yerkürede meydana gelen kimyasal değişimler, uzun dönem iklim değişiklikleri, hayvan davranışlarındaki anormallikler, atmosferdeki elektromanyetik değişimler, v.s**) bulunmaktadır (jmo.org:2024). Tek bir deprem habercisi kullanılarak deprem tahmini yapmak çok güçtür. Deprem habercileri, fay mekanizmasına, gerilim paternlerine, fayların geometrik özelliklerine, komşu bölgelerdeki göreceli harekete, odak derinliğine ve büyüklüğüne bağlıdır. Bu uygulamaların gerçekleşebilmesi için çok sayıda uzman personelin uzun bir süre (deprem oluşumuna kadar!) sürekli kayıt alması ve alınan bu kayıtların anlık işlenerek değerlendirilmesi ve devlet kademesine iletilmesi gerekir. Yanlış yapılan veya öngörülemeyen değerlendirmeler çok dramatik sonuçlara yol açabilir. Çünkü deprem anı ayrıntıya dönüştükçe bilimsellikten uzaklaşır. Öte yandan depremi haber vermek birkaç saatten birkaç yıla kadar değişkenlik gösterebilir. Öte yandan bu tür araştırmalar yüzey kırığı oluşturmuş ve arazide varlığı bilinen faylar üzerinde gerçekleştirilebilir. Arazide gözlenemeyen (orman dokusu, deniz ve göl ortamı, yerleşim yerleri v.b) ortamlarda bu türden araştırmaların yapılması da mümkün olmayabilir (jmo.org:2024). Son olarak dünya çapında meydana gelen büyük depremler, milyarlarca bölünme ekonomik zarara ve insanın yerinden olmasına yol açmıştır. Güvenli yapılar, yalnızca deprem sonrası onarımdan ayrıntılı bilgiler, aynı zamanda toplumların yeniden yapılanma süreçlerini hızlandırmada önemli bir rol oynamaktadır. Bu bildiri, hem mühendislik alanında çalışan profesyonellere hem de kamu politikası oluşturucularına, deprem güvenliği konusunda daha hızlı mesafeler almalarında rehberlik hizmetleri sunmaktadır.

Çin, Hindistan ve Rusya gibi ülkelerde, kırsal kesimde amatör sismolog yetiştirilmektedir. Bu ülkelerde, din adamları, öğretmenler ve yöneticiler, arazi ve hayvan üzerinde gözlemler yapmaktadırlar. Bu tür gözlemler, deprem gibi doğal afetlere karşı erken uyarı yapabilme amacını taşır, ancak tam olarak ne zaman gerçekleşeceği bilinemez. Japonya, deprem uyarı sistemleri konusunda en gelişmiş ülkelerden biridir (Ersoy, 2014). Ancak, büyük depremler söz konusu olduğunda, bu uyarıların etkisi sınırlıdır. Deprem anı çok hızlı geldiği için, çoğu zaman birkaç saniye içerisinde alınabilecek önlemler bile yetersiz kalabilir. Türkiye gibi deprem riski yüksek bölgelerde, benzer sistemler geliştirilmeye devam etmektedir. Ancak, bu sistemler hala tam olarak istenen verimi verememektedir. Avusturya örneği, güvenli yapılar ve doğa ile uyumlu tasarımlar konusunda bir model teşkil etmektedir. Ağaçların kökleri toprağa sıkıca tutunarak evlerin yıkılmasını engellemeye yardımcı olabilir. Bunun yanı sıra, Türkiye'deki yerel yönetimlerin ve medyanın, bölgesel farklılıkları göz ardı etmesi, afetlere karşı duyarsız kalmalarına neden olmaktadır. Yerel malzeme çeşitliliği ve coğrafi faktörler, yapıların sağlamlığında önemli rol oynamaktadır. Ege bölgesindeki yapılar, genellikle doğal taşlarla inşa edilirken, Karadeniz bölgesinde yağış miktarının fazla olması nedeniyle betonarme yapılar yerine farklı malzemeler tercih edilmektedir. Doğayla uyumlu yapılar inşa etmek, gelecekteki

nesiller için hayati öneme sahiptir. Evlerimizin etrafında ağaçlandırma yaparak, kökleri ile deprem dalgalarını soğurmasını, erozyonu ve heyelanı engellemeyi, zemin suyunu tahliye etmeyi ve oksijen üretimini gibi çok sayıda yarar sağlamaktadır (Ersoy, 2014).

2. DEPREM ÖNCEDEN HABER VERME ÇALIŞMALARI YERİNE NEDEN GÜVENLİ YAPILAR YAPMALIYIZ?

Depremler, yerkabuğundaki ani hareketlerin sonucunda ortaya çıkan ve en ciddi can ve mal kayıplarına yol açan doğal felaketlerdir. Dünya çapında meydana gelen büyük depremler, insanlığın en trajik olaylarından oluşur ve bu olayları toplumların sosyal, ekonomik ve psikolojik açıdan derinden etkilendiği gözlemlenir. Türkiye, tarihi boyunca pek çok büyük depreme tanıklık etmiş ve bu nedenle deprem riski yüksek bir coğrafyada yer almaktadır. Bölgedeki konumu nedeniyle çeşitli fay hatları bulunmakta ve bu durum, sürekli olarak deprem riski ile yüz yüze bırakılmaktadır. Bu bağlamda, depremlerle başa çıkabilmek için iki ana yaklaşım ön plana çıkmaktadır (aa.com.tr, 2024) Deprem öncesinde haber verme sistemleri ve güvenli yapıların inşasıdır. Ancak her iki yaklaşımın etkinliği ve uygulanabilirliği açısından dikkatli bir değerlendirme yapılması gerekmektedir. Deprem öncesi haber verme sistemleri, potansiyel bir depremin yaklaşmakta olduğu veya meydana geldiğini bildiren teknolojik araçlardır. Bu sistemler, sismik hareketleri algılayarak, depremin meydana gelmesinden birkaç saniye önce insanları uyarma amacı taşır. Bu tür sistemler, anlık olarak yapılan acil işlemleri bildirmekte, insanların güvenli bir yere yönlendirilmelerine yardımcı olmaktadır. Ancak bu sistemlerin sınırlamaları ve eksiklikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Diğer bir husus ise haber verme etkinliği, bu sistemlerin ne kadar yaygın ve erişilebilir olduğuna bağlıdır. Kırsal alanlar veya altyapı eksiklikleri bulunan yapıların bu sistemlerin yetersiz kalması, insanların güvenlik açısından ciddi riskler yaratmasını sağlayabilir. Ayrıca deprem anında insanların panik içinde hareket edeceklerinden, bu sistemlerin sunduğu bilgilere hızlı bir şekilde ulaşmak da mümkündür. Tüm bu nedenler, mevcut deprem haber verme sonuçları sadece birer önlem aracı olduğunu, ancak gerçek çözümün güvenli yapıların inşasında yattığını göstermektedir. Güvenli yapıların inşası ise, depremlere karşı kalıcı ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. Mühendislik politikalarına uygun olarak tasarlanmış ve inşa edilmiş yapılar, deprem sırasında yıkılmadan ayakta kalabilmekte ve insan yaşamının korunması altında yer almaktadır. Bu yapılar, sağlam temeller, dayanıklı özellikler ve doğru mühendislik programlamaları ile inşa edilir, depremin olumsuzlukları ve az indirmeyi genelleştirir (Gök, 2023). Ayrıca güvenli yapılar, yalnızca fiziksel bir barınma sunmakla birlikte, aynı ekonomik zamanda kayıpları da en aza indirmektedir. Hasar gören yapılar, yeniden inşa maliyetleri ve uzun süreli ekonomik kayıplar anlamına gelirken, güvenli yapılar, bu ülkenin sonuna kadar uzanan, toplumun ekonomik istikrarını korumaktadır. Güvenli yapıların inşası, deprem sonrası kurtarma ve devam etme süreçlerini kolaylaştırmaktadır. Güvensiz olarak inşa edilen yapıların yıkılması ve göçmesi, acil durumda kurtarma ekiplerinin ekibinin çalışmasını engelleyebilir ve bu durum, kurtarma sürecinin uzamasına neden olabilir (Dönertaş, 2006). Ancak, güvenli yapılar, bu tür engellerin ortadan kalkması, acil durum müdahalelerinin daha hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi olanaklarını sunar. Ayrıca, güvenli yapıların tarihleri, toplumun güven hissini

artıracak ve yaşam standartlarını yükseltmektedir. Bunun yanı sıra, güvenli yapıların inşası toplumsal yapı üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır.



Şekil 2: Yer altındaki iki zemin kütesinin zıt yönlerde hareket etmesi, fay hatları boyunca gerçekleşen ve genellikle deprem üreten yatay yer değiştirme sürecidir (jmo.org,2024-2).

İnsanların güveni içinde yaşadığı, eğitimin kattığı ve güvenli yapılar, sosyal dayanışmayı artırma ve toplumsal psikolojik sağlamlığını desteklemektedir. Güvenli yapılar, yalnızca fiziksel bir barınma sunmakla birlikte, aynı zamanda sosyal sağlıklarını korumalarına da katkı sağlamaktadır. Bu durum, özellikle deprem riski yüksek yerlerde yaşayan insanlar için kritik bir önem taşımaktadır (Özdemir, 2024). Güvenli yapıların inşaatı, sadece deprem gibi doğal felakete karşı değil, aynı zamanda iklim iklimi gibi küresel iklim koşullarına karşı da bir dayanıklılık kazandırılmaktadır. Bu bağlamda, güvenli yapıların sadece deprem öncesi değil, aynı zamanda deprem sonrasındaki etkilerinin bakış açısından da büyük önem taşıdığı. Güvenli yapıların inşası, insan yaşamının korunması ve ekonomik kayıpların azaltılması için en etkili yöntemdir. Bu bağlamda, hükümet, yerel yönetimler, inşaat sektörü ve toplumun diğer üyeleri, güvenli yapıların inşası için iş birliği yapmalı, etkili politikalar iyileştirmeli ve sürdürülebilir çözümler üzerinde yoğunlaşılmalıdır. Bu süreçte toplumsal gelirin artırılması, eğitim programlarının düzenlenmesi ve teknoloji ile mühendisliğin birleştirilerek güvenli yapıların yaygınlaştırılmalıdır. Depreme dayanıklı yapılar inşa etmek, teknik açıdan zor bir süreç

değildir; asıl önemli olan, yapıların kurulacağı alanların uygunluğudur. Özellikle gevşek alüvyon ortamlara inşa edilecek yapılar için, zemine uygun ölçekte dolgu oluşturmak büyük bir önem taşımaktadır. Bu uygulama, maliyet açısından da son derece basit ve ekonomiktir. Uygun dolgu işlemi sayesinde yapının temeli, sarsıntı anında gelen sismik dalgaları ilk olarak karşılayarak sönmümlendirecek ve dolayısıyla yapıya zarar vermesini engelleyecektir. Ne yazık ki, ülkemiz insan hatalarından kaynaklanan yanlış uygulamalar nedeniyle depremlerden büyük zarar görmüştür. Yanlış planlama, çarpık kentleşme ve belli bölgelerde yoğunlaşan nüfus, bu zararların en büyük nedenleri arasında yer almaktadır. Şehirlerin planlamasında hangi parametrelerin dikkate alınması gerektiği sorusu, Cumhuriyetin kuruluşundan beri pek fazla sorgulanmamıştır. Ekonomik faktörler, şehir planlamasında en çok öncelik verilen unsurlardan biri olmuştur. Ancak sosyolojik ve kültürel parametrelerin göz ardı edilmesi, şehirlerin sağlıklı bir şekilde gelişimini engellemektedir. Örneğin, 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen deprem sonrasında köylerde inşa edilen tek katlı yapılar ve bahçe alanlarına sahip konutlar, kırsal alanlardaki yaşam standardı açısından olumlu bir gelişme olarak değerlendirilebilir (Özdemir, 2024). Ancak hasar gören şehirlerde (örneğin Adıyaman, Hatay ve Kahramanmaraş), şehir

merkezlerinde inşa edilen kalıcı konutların 5-6 katlı olarak projelendirildiği gözlemlenmektedir.

Şekil 3: Zemin dolgusu üzerine yapılan görsel yapay zekâyla tasarımı (2024-3)

Kırsalda yaşayan bireylerin bahçeye ihtiyaç duyduğu kadar, şehirde yaşayan bireylerin de yeşil alanlara, bahçelere ve doğal çevreye ihtiyaç duyduğu unutulmamalıdır. Bu ihtiyacı, çocuk parkları gibi sınırlı ve yapay alanlarla karşılamak mümkün değildir. Şehirlerdeki yapılaşmalarda kullanılan malzemeler ve uygulanan teknikler, ülkenin genelinde benzerlik göstermektedir. Bu durum, beraberinde çeşitli sorunları da getirmektedir. Yeşil alanların, özellikle de ağaçların eksik olduğu bir şehirde, sağlıklı ve huzurlu bir yaşam ortamının varlığından söz edilemez. Böyle bir ortam, yalnızca insan yaşamını değil, doğal hayatı da olumsuz bir biçimde etkilemektedir. Depremi önceden haber alma konusu, insanlığın zihnini

var



olduğu günden beri meşgul etmektedir. Bilimsel altyapının gelişimi ve teknolojiye hızlı ilerleme, bu konuda bilim camiasını sürekli bir arayışa yöneltmektedir. Depremi önceden haber

almak, aslında içinde yaşadığımız yapılara olan güvensizlikten kaynaklanmaktadır. Bu güvensizlik, yalnızca yapıların fiziksel dayanıklılığına değil, aynı zamanda şehir planlamasının sosyal ve kültürel boyutlarına da yansımaktadır. Dolayısıyla, depreme dayanıklı yapıların inşası ve sağlıklı şehir planlaması, gelecekteki yaşam standartlarımızı belirleyen en kritik unsurlar arasında yer almaktadır.

3. GÜVENLİ YAPILARIN İNŞA EDİLMESİNİN TOPLUMSAL ETKİLERİ NELER OLABİLİR?

Depremler, dünya çapında insanların yaşadıkları, doğal afetler arasında en yıkıcı olanlardan biridir. Türkiye gibi deprem kuşağında yer alan çeşitliliği, bu tehditlerin azaltılması için çeşitli stratejiler geliştirilmektedir. Bu stratejiler arasında, deprem mevcut haber verme sistemleri ve güvenli yapıların inşası öne çıkmaktadır. Alarmlı haber verme sistemleri, olay gerçekleşmeden önce bilgilendirmeyi genelleştirirken, güvenli yapıların inşası, fiziksel deprem dayanıklılığını sağlamakta ve toplumların uzun süreli süreleri artırılmaktadır. Bu yazılı, güvenli yapıların inşasının toplumsal etkilerinin ayrıntıları incelenecektir.

Güvenli yapıların inşası, afet yönetimi literatüründe önemli bir yer tutmakta ve bu konuda yapılan incelemeler, güvenli yapıların deprem sonrası can ve mal kaybı önemli ölçüde ayrıldığını göstermektedir. Güvenli yapı inşalarının, yalnızca bir yapının sağlamlığı ile değil, aynı zamanda bu yapıların içinde yaşayan insanların güvenliği ile de doğrudan kullanılabilirliği (afad.gov, 2024). Afetin meydana getirdiği kayıplar, yalnızca fiziksel yıkım ile sınırlıdır; Aynı zamanda toplumsal yapıyı da derinden etkiliyor. Yapıların güvenli olması, insanların psikolojik ve sosyal durumlarını da etkileyerek toplumun genel huzurunu arttırır. Deprem sonrasında meydana gelen kayıplar ve maddi kayıplar, toplumsal dayanışma gücü da zedeleyebilirken, güvenli yapıların varlığı, bu olumsuz etkilerin en aza indirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Güvenli yapıların inşası, yalnızca fiziksel değişimin arttırılmasıyla gösterilmemeli, aynı zamanda psikolojik iyileşmeyi de destekleyerek toplumsal rahatlığı sağlamaktadır. Deprem riski yüksek olan yapılar yaşayan insanlar, dayanıklı yapılar içinde bulduklarında daha az kaygı duyulmaktadır. Bu durumda, günlük yaşamlarında daha olumlu bir psikolojik durum sergilemelerine yardımcı olmaktadır. Araştırmalar, güvenli yapıların deprem sonrasında meydana gelen travmanın kalıcılığına katkıda bulunduğunu göstermektedir (Özdemir, 2020). Depremin ardından yaşanan stres ve kaygı, güvenli ve sağlam yapılarda yaşayan bireyler için daha az hissedilmektedir. Bu da toplumun genel huzurunu arttırarak sosyal iletişimlerin güçlenmesine yol açmaktadır. Güvenli yapıların refahı, toplum içinde daha aktif bir şekilde yer almalarını teşvik eder (afad.gov, 2024). Toplumun stresinin azalması, sosyal etkinliklerin görülmesini artırması ve bu da toplumsal bağların güçlenmesine yol açması. Bu ekonomik, güvenli yapıların temin edilmesi, yalnızca sürdürülmemesi, toplumun genel sağlık ve mutluluk açısından da büyük önem verilmesi.

Güvenli yapıların varlığı, sosyal etkileşimi ve toplumsal dayanıklılığı artırma potansiyeline sahiptir. İnsanlar, güvenli bir şekilde yaşamayı deneyimlediklerinde, topluluklarıyla daha fazla etkileşimde bulunmaları sağlanır. Bu durum, sosyal bağların güçlenmesine, toplumsal dayanışmanın artmasına ve kültürel mirasın korunmasına katkı sağlar. Güvenli yapılar, toplum içinde dayanışma ve yardımlaşma kültürünü destekleyen bireyler arasında daha güçlü bir

yapıya kavuşmalarına olanak tanır. Özellikle doğal afetler sonrası yardımlaşma ve dayanışma eylemleri, güvenli yapıların varlığı ile daha etkin bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Sosyal paylaşımı, sermayenin artışı artıran önemli bir faktördür. İnsanlar, güvenli yapıların içerdiği fazladan bir araya gelir, ortak daha etkinlikler düzenler ve bu sayede toplumsal dayanışmanın fikirleri geliştirirler. Güvenli yapıların inşası, yalnızca bireysel güvenliğin sağlanmasıyla kalırken, aynı zamanda toplumsal dayanışma ve yardımlaşma kültürünün güçlenmesine de katkıda bulunulur. Bu durum, afet anında ve sonrasında toplumsal dayanışmanın daha etkili bir şekilde gerçekleşmesine olanak tanır.



Şekil 4: Yanal kayma (transform) hareketler, iki tektonik levhanın yan yana, birbirine paralel ama zıt yönlerde hareket ettiği bir tektonik süreçtir. (2024-4)

Güvenli yapıların inşası, yerel ekonomilerin güçlendirilmesine katkı sağlar. İnşaat sektörü, bu süreçte yeni tesisler yaratma ve inşaat malzemeleri ile iş gücünün yerel kaynakların temin edilmesi, ekonomik döngüyü sürdürmesi. Güvenli yapı projeleri, inşaat sektörünün yanı sıra mühendislik ve mimarlık alanlarında da yeni iş olanakları sunmaktadır (Kaya, 2020). Bu süreç, yerel halkın ekonomik olarak güçlenmesine yardımcı olarak, aynı zamanda toplumun genel refah seviyesini artırmaktadır. Güvenli yapı inşalarının, yalnızca inşaat süreci değil, aynı zamanda ömrü boyunca bakım ve onarım hizmetleri ile yeni iş fırsatları doğurmakta, bu durum yerel ekonominin dinamikliğini artırmaktadır. Güvenli yapıların inşası sırasında kullanılacak yerel malzemelerin temini, yerel işletmelere ekonomik fayda sağlar. Bu durum, yerel ekonominin canlanmasına ve bölgedeki istihdam olanaklarının artmasının katkısını sağlar. Ayrıca güvenli yapıların inşası, inşaatın daha sonraki dönemde ekonomik açıdan etkilenmesi söz konusudur. Güvenli yapıların, deprem sonrasında hızlı bir şekilde yeniden yapılanma sürecinin hızlanmasını sağlarken, ekonomik kayıpların en aza indirilmesi de yardımcı olur. Güvenli yapıların inşası, deprem sonrası yeniden yapılanma sürecini hızlandırarak ekonomik

istikrarı artırmaktadır. Depremın ardından parçalanmanın parçalarının güvenli yapıların inşa edilmesi, toplumların yeniden inşa sürecini hızlandırarak ekonomik kayıpların ve azaltılmasına katkı sağlar. Örneğin depremler sonrasında güvenli yapıların hızlı bir şekilde inşa edilmesi, hem insan hayatını korumada hem de ekonomik kayıpları en aza indirmeye çalışmaktadır. Güvenli yapıların varlığı, aynı zamanda yerel yönetimlerin acil durum planlarını daha etkili bir şekilde uygulamalara olanak tanır (Filiz-Karagöz, 2023).

Yeniden yapılanma süreci, güvenli yapıların inşa edilmesi, yalnızca fiziksel olarak gerçekleştirilmemesi, aynı zamanda toplumsal psikolojik olarak toparlanması da katkı sağlamaktadır. Toplum, güvenli yapılar sayesinde daha hızlı bir şekilde normal yaşantıya dönebilmekte ve bu da ekonomik istikrarı sağlamıştır. Yeniden yapılanma süreci, toplumsal dayanışma ve yardımlaşma duygusu güçlenir, bu toplumun genel refahını artırır. Güvenli yapıların varlığı, toplumun doğal afetlerine karşı hazırlıklı hale getirilmesi sağlanarak, miktarı artırılmaktadır.



Şekil 5: Yer altındaki iki zemin kütesinin zıt yönlerde hareket etmesi, fay hatları boyunca gerçekleşen ve genellikle deprem üreten yatay yer değiştirme sürecidir. (jmo.org,2024-5)

4. TARTIŞMALAR

Bu çalışma çerçevesinde elde edilen bulgular, deprem mevcut haber verme sistemlerine yapılan yatırımlar ile güvenli yapıların inşası arasındaki farklılıklarını genel bir şekilde ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, bu iki yaklaşımın karşılıklılığının yanı sıra, güvenli yapıların inşasının önemi ve gelişmelerin ele alındığını göstermektedir.

Karşılaştırma: Depremın mevcut haber verme sistemleri, teknolojik gelişmelerle birlikte belirli bir zaman diliminde sahip olmalarına rağmen, bu sistemlerin etkinliği çeşitli parametrelere

bağlı olarak sınırlandırılır. Bu sistemlerin doğru çalışabilmesi için gerekli olan altyapının farklılığı, hızlı veri işleme yeteneği ve toplumsal olarak benzer özellikler, sistemlerin görünümü doğrudan karşımıza çıkarmaktadır. Ancak, sağlanan zaman dilimi genellikle yetersiz kalmakta ve birçok çalışır durumdaki sistem insanları kurtarma konusunda etkili olamamaktadır. Öte yandan güvenli yapıların inşası, deprem anında insanların canlarının korunması ve ekonomik kayıp konusunda çok daha etkin bir çözüm sunmaktadır. Modern mühendislik teknikleri ile tasarlanan bu yapılar, depreme dayanıklı malzemelerle inşa edilmekte ve yerel çevre koşullarına uygun bir şekilde geliştirilmekte, böylece deprem sırasında meydana gelen yıkım ve zararları en aza indirmektedir (Alçık, 2023).

Kaynak Yönetimi: Depremi haber verme sistemlerine yapılan yüksek maliyetli yatırımlar (kurulacak sistemler için aletler, iş gücü, zaman ve ekonomik değer) anlamında, bu sistemlerin ekonomik fizibilitesini sorgulamakta ve bu durum, daha etkili bir şekilde kullanılması gerekliliğini gündeme getirmektedir. Güvenli yapılar, yalnızca inşa edildikleri anda değil, uzun vadeli toplumların genel risk yönetimi sistemlerine entegre edilerek daha sürdürülebilir çözümler sunmaktadır. Bu yapısal, güvenli yapılar, daha sonra yeniden oluşturulan paketlerde daha hızlı ve etkili bir yanıt verme birimine sahip olmaya devam etmektedir (Alçık, 2023).

Toplumsal Etkiler: Güvenli yapıların inşası, toplumların deprem riskinin azalmasını ve insanların yaşamlarının korunmasında iyileşme sağlamaktadır. Bu yapıların, depremin ardından hayata dönüşte kritik bir rol oynadığı görülüyor. Güvenli yapılar, yalnızca fiziksel bir koruma sağlamakla kalmıyor, aynı zamanda toplumların dayanıklılıklarını artırarak, bireylerin daha güvende hissetmelerine katkıda bulunuyor. Ekonomik istikrarı sağlarken, toplumsal bağları güçlendirir ve insanlar arasında güvenin pekiştirilmesini sağlar. Bu yapısal, güvenli yapılar, birleştirilmiş kolektif hafızaya ve kültürel yapıya katkı sağlayarak, toplumsal dayanışmayı teşvik etmektedir (Filiz-Karagöz, 2023).

Uluslararası Uygulamalar: Farklı çeşitlilikte güvenli yapıların inşasına yönelik yapılan yatırımlar, çeşitli başarılı örneklerle desteklenmektedir. Örneğin, Çin'de kırsal alanlardaki büyüme depreme dayanıklı konut projeleri, hem güvenli yapıların yaygınlaştırılmasına hem de yerel toplulukların bilinçlendirilmesine katkıda bulunmaktadır. Hindistan'da yerel özelliklerle inşa edilen ekonomik ve dayanıklı yapılar, hem maliyet verimliliği hem de dayanıklılık açısından önemli bir model oluşturmaktadır. Ayrıca, Rusya'nın sert iklim koşullarına uygun deprem ve dayanıklı tasarımlar, yerel yoğunluklara uygun bir yaklaşım sunarak, bu yapıların örnek teşkil eden bir model haline gelmesini öneriyor. Türkiye gibi deprem riski yüksek bölgede ise, yedi bölge özgü iklim ve zemin koşullarının kaydedilmesi, güvenli ve çevreye uygun yapıların inşa edilmesi kritik önemsenecek. Bunun örneklerini tarihsel yapılarda sıklıkla görmekteyiz (Cami, kilise, kümbet, saray, kervansaray ve diğer tarihsel yapılarda). Bu uygulamalar, güvenli yapıların inşasının sadece altyapı sorunu değil, aynı zamanda toplumsal bir sorumluluk olduğunu göstermektedir (Özdemir-Karataş, 2024).

Uzun Vadeli Çözümler: Güvenli yapıların inşası, uzun vadeli yapılar, deprem öncesi, toplumsal yaşamın artırılması, insanların hayatlarının korunmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu yapıların korunması, erken uyarı sonuçları zaman diliminden çok daha değerlidir. Ayrıca, güvenli yapıların refahı, doğal afetlere karşı direncin gelişimi ve insan sağlığı üzerindeki olumlu etkiler, bu yapıların bir diğer önemli faydasıdır. Doğa ile uyumlu bir yaşam alanı sunan bu yapılar, estetik açıdan da tatmin edici çözümler sunmaktadır (İrdem - Mert, 2023).

Politika Önerileri: Çalışmanın sonuçları, politika yapımcılar ve mühendisler için önemli öneriler sunmaktadır. Bu öneriler, güvenli yapıların inşasının teşvik edilmesi ve depremin haber verme sonuçlarının yeniden değerlendirilmesi vurgulanmaktadır. Ayrıca, güvenli yapıların inşa süreci yerel toplulukların sunumunun devam ettiği, inşaat bölümlerinin şeffaflığının ve toplumsal büyümenin başlatıldığı, bu önerilerin sunulduğu oluşur.

Bu bulgular, güvenli yapıların inşasının sadece teknik bir ihtiyaç değil, aynı zamanda toplumsal bir sorumluluk olduğunu göstermektedir. Deprem riskinin yüksek olduğu yapılar bu tür yapıların inşa bölümlerinin gerekliliği, toplumların uzun süre boyunca birikimlerini artırma potansiyelini artıracaktır. Güvenli yapıların eklenmesi, sadece deprem sonrası onarımdan daha fazlasını ifade etmekte, aynı zamanda toplumların yeniden yapılanma süreçlerini hızlandırmakta ve afetlere karşı hazırlıklarını güçlendirmektedir. Bu ekonomik, mühendislik alanında çalışan profesyoneller ve kamu politikası oluşturucuları, deprem güvenliği konusunda daha etkin ve sürdürülebilir yaklaşımlar benimsemeli ve uygulamalara yön vermelidir (İrdem - Mert, 2023).

Yerel iş gücünün varlığı, hem ekonomik kalkınma hem de istihdam yaratma olanağı önemli bir fırsat sunar. Ancak bu çalışmalarda yönetim ve denetim bolluğunun yeterliliği, olası yolsuzluk ve suiistimallerin önlenmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Farklı türden güvenli yapı uygulamaları, her ülkenin kendine özgü mülkiyeti, sosyal ve kültürel görüntüler yansıtılmaktadır. Yerel ortamların ve inşaat tekniklerinin kullanımı, maliyet etkinliğinin yanı sıra grupların kültürel zenginlik sağlama açısından da önemlidir. Ancak, yerel sistemin uluslararası standartlarla karşılanması, güvenli yapıların uygunluğunun sorgulanması ve bu durum, global standartların yerel koşullarla entegre edilmesi gösterilmektedir.

KAYNAKÇA

Alçık, H., İstanbul'da Kurulu Deprem Erken Uyarı ve Yapısal Alarm Sistemleri. İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 26, 2, 65-72, 2023.

Dönertaş, A.S, Afet Yönetimi Kapsamında Güvenli Yerleşim Yerlerinin Tasarımı İçin Kentsel Tasarım Standartların Geliştirilmesi., Yüksek Lisans Tezi), Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.

ERSOY, Ş., 2014 Yılındaki Doğa Afetlerine Küresel Bir Bakış 2014.

Filiz, M., Karagöz, Y., & Karaşin, Y., Depreme Maruz Kalan Bireylerin Psikolojik Etkilerini Belirlemeye Yönelik Ölçek Geliştirme Çalışması, Dicle Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 33, 236-250, 2023. <https://doi.org/10.15182/diclesos>.

Gök, S. B., Japonya birleşik risk modeli kapsamında Erzurum'un yeni gelişme alanlarının deprem riskinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Erzurum, 2023.

<https://evrimagaci.org/depremleri-oceden-tahmin-etmek-mumkun-mu-5030> (Erişim tarihi: 09.09.2024)

<https://www.aa.com.tr/tr/gundem/turkiye-nin-fay-hatlari/3170167> (Erişim tarihii:15.11.2024)

<https://www.afad.gov.tr/deprem-bolgesine-yonelik-calismalar> (Erişim tarihi: 7.10.2024)

https://www.jmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=44&tipi=2 (Erişim tarihi:20.09.2024)

İrdem, İ., & Mert, E., Deprem, Dirençli Kent ve Acil Afet Yönetimi: Türkiye Örneği. Kamu Yönetimi ve Politikaları Dergisi, 4, 2, 241-276, 2023.

<https://doi.org/10.58658/kaypod.1>

Özdemir, A. F., & Engin, C., Depremin Sosyal, Ekonomik ve İç Göçe Etkileri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 14, 1, 15-26, 2024.

<https://doi.org/10.47147/ksuiibf.1469029>.

Özdemir, I., Karataş, N., Deprem Anında Yapıların Hasar Almasına Etki Eden Mimari Ölçekli Faktörler ve Yunuskent Sitesi Örnekleme. Türk Deprem Araştırma Dergisi, 6, 1, 1-29, 2024. <https://doi.org/10.46464/tdad.1290795>

ŞEKİL KAYNAKLAR

Şekil 1: Yanal Atımlı Fay Morfolojisi Örneği, A. M. Celal Şengör ve Umut B. Ülgen. (Erişim Tarihi: 30.10.2024-1)

Şekil 2: Yer altındaki iki zemin kütlelerinin zıt yönlerde hareket etmesi, fay hatları boyunca gerçekleşen ve genellikle deprem üreten yatay yer değiştirme sürecidir. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/d92f3c395a121f9_ek.pdf (Erişim Tarihi:18.11.2024-2)

Şekil 3: Zemin dolgusu üzerine yapılan görsel yapay zekayla tasarımı. (Erişim Tarihi: 30.12.2024-3)

Şekil 4: Yanal kayma (transform) hareketler, iki tektonik levhanın yan yana, birbirine paralel ama zıt yönlerde hareket ettiği bir tektonik süreçtir. (Erişim Tarihi:19.11.2024-4)

Şekil 5: Yer altındaki iki zemin kütlelerinin zıt yönlerde hareket etmesi, fay hatları boyunca gerçekleşen ve genellikle deprem üreten yatay yer değiştirme sürecidir. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/d92f3c395a121f9_ek.pdf (Erişim Tarihi:18.11.2024-5)

EVALUATION OF RARE EARTH ELEMENTS; APPLICATIONS, OCCURRENCES, DISCOVERIES, ANALYSIS, RECYCLING, AND ENVIRONMENTAL IMPACTS FROM A GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL APPROACH

PhD Student, Mustafa BATUHAN ERTEKİN

Republic of Turkey Ministry of Energy and Natural Resources
batumertekin@gmail.com - ORCID ID: 0000-0001-9770-7157

Assoc. Prof. Dr., Berna YAVUZ PEHLİVANLI*

Yozgat Bozok University, Department of Geological Engineering,
66900, Atatürk Road, Yozgat, Türkiye *(Responsible Author)
berna.yavuz@yobu.edu.tr- ORCID: 0000-0003-0127-8525

ABSTRACT

Rare earth elements (REEs), comprising the lanthanide series (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, and Lu), as well as Sc and Y, are vital for many modern technologies, including cell phones, televisions, LED lighting, and wind turbines. Various analytical techniques used in these studies are described, including X-ray fluorescence spectrometry (XRF) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). This research provides an extensive overview of REEs' occurrence and mineralogy within the Earth's crust, showcasing various types of deposits on land and in oceans. Recent findings from the Indian subcontinent are also included, along with the latest applications of REEs in agriculture and medicine. The study discusses the environmental risks related to REE mining, its effects on human health, and the issues arising from large-scale REE-containing electronic waste disposal. Additionally, it examines recent progress in recovering REEs from coal ash and e-waste, presenting future supply strategies. Technological advancements in the separation of individual REEs in metallurgical and recycling processes are also highlighted. Sustainable management of rare earth elements (REE) is of great importance. In order to reduce environmental damage, recycling should be prioritized, investments should be made in new technologies and R&D studies, and national and international collaborations should be encouraged.

Keywords: Rare earth elements (REEs), REE recycling, Metallurgy, Environment, Ore deposits.

INTRODUCTION

Rare earth elements (REEs) are found in various minerals in nature, including carbonate, oxide, and phosphate minerals. Approximately 200 minerals are known to contain REEs, and when silicates are included, this number increases to 245. The main minerals are known as bastnaesite, monazite, and xenotime. Bastnaesite is considered the most important REE mineral because it is the primary ore mineral of the two largest REE deposits.

Lanthanide group elements are found in nature as compounds in magmatic, sedimentary and metamorphic rocks. The environments where REEs are enriched are examined under two main headings:

Primary deposits: Formations related to magmatic rocks and hydrothermal activities. Secondary deposits: Deposits formed as a result of sedimentary activities and weathering processes. In addition, secondary gold deposits (placer and karst) formed by the transportation of gold from these primary deposits are also of great importance. The discovery of RTE (Rare Earth Elements) deposits usually begins with geochemical and geophysical methods. Detailed studies include: Geochemical Analyses: Determination of element concentrations in soil and rock samples. Geophysical Investigations: Detection of mineral deposits by magnetic, gravimetric and gamma radiation measurements. Field Studies: Investigation of carbonatite and granitic intrusions in particular (Figure 1).

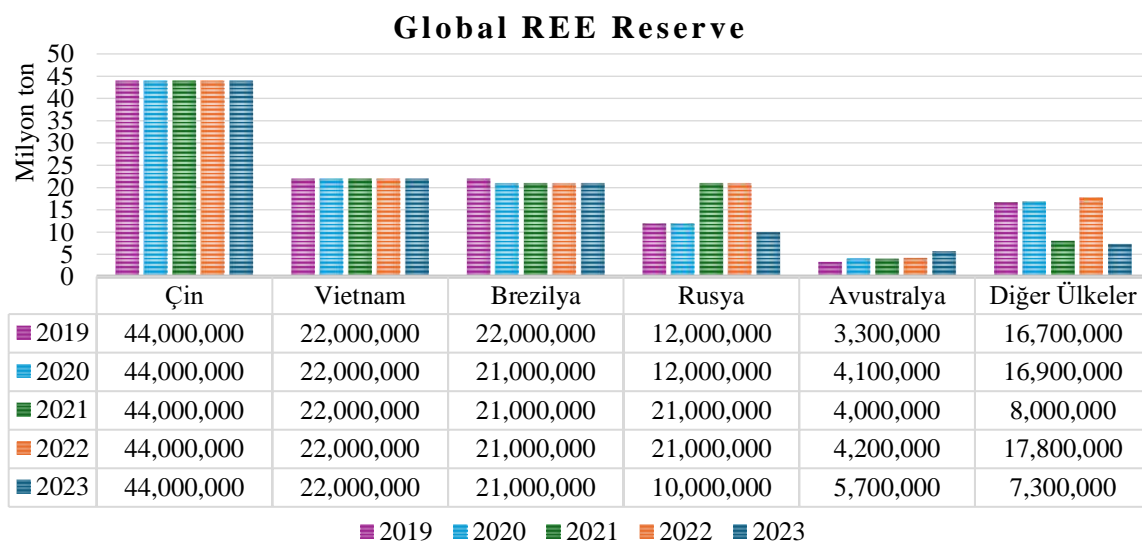


Figure 1. Global REE Reserves

REE IN THE WORLD

In mining, the vast majority of rare earth elements (REE) mined by 2024 will come from China, primarily from the Bayan Obo mine in Inner Mongolia.

In the rest of the world, Mount Weld in Australia and Mountain Pass in the United States are the leading producers.

China will remain the largest mining country in REE supply through 2030, but Australia is expected to increase its share of the global total to 18%, while the United States is expected to maintain its share at 7%, similar to current levels

REE IN TURKEY

The exploration and technology studies in the field of rare earth elements (REE) in our country have recently gained momentum in parallel with similar studies in the world. In this context, a facility with a capacity of 1,200 tons/year was established by Eti Maden İşletmeleri to process the basnasite ore found in Eskişehir/Beylikova.

There are 30,358,268 tons of basnasite ore in the licensed area in question, and it is stated that the ore contains an average of 3.14% rare earth oxide (REE) ($CeO_2+La_2O_3+Nd_2O_3$).

As a result of the research conducted by MTA, a total of 134.3 million tons of NTE resources, 6 million tons (1,420 ppm) in 2021, were discovered.

Studies for the production and acquisition of rare earth elements (REE) and rare earth oxides (NTO) are actively carried out in our country.

In the recent studies conducted by MTA, cerium, lanthanum, neodymium, praseodymium, uranium, thorium and Heavy Rare Earth Oxides (HRA) with a purity of over 99% were obtained.

ECONOMIC EVALUATIONS

REEs are considered critical elements in the plans of many countries today. In a study conducted by the European Union, raw materials were classified in terms of supply risk and economic importance. In this study, light rare earth elements (LREE) and heavy rare earth elements (HREE) are at the top in terms of supply risk. The use of these elements in high-tech areas such as defense industry, lasers, optical cables, mobile phones, chips and various circuits, etc. makes NTEs increasingly indispensable for today's world.

NEW RESOURCES AND RECYCLING

Separation of rare earth elements from used electronic devices. Example: 11 kg of rare earth elements can be obtained from recycling 100,000 iPhones.

Alternative Sources:

Innovative sources such as coal ash, ocean sediments. Deep sea mining potential, but economic and environmental challenges exist.

Technological Developments:

Advanced technologies such as Super League Molecular Recognition (MRT).

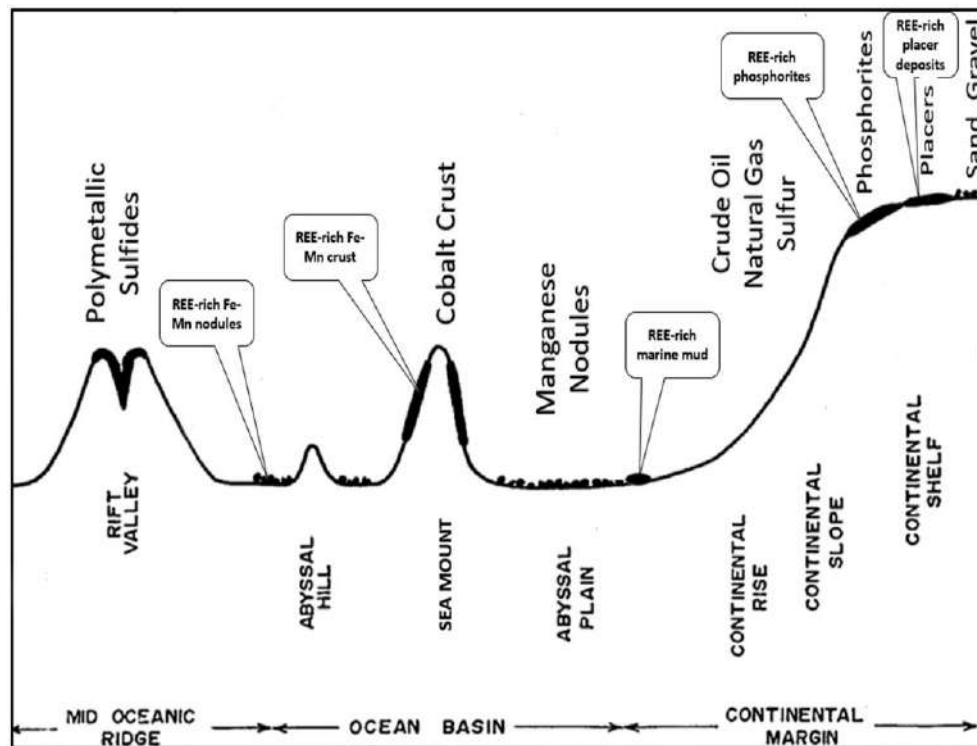


Figure 2. The occurrence of manganese nodules, cobalt crusts, marine mud, and phosphorites is common in ocean basins, seamounts, and continental margins within the oceans.

REE RECYCLING

During the years 2010-2011, when price fluctuations occurred, recycling was considered an important alternative in NTE supply. In this context, studies were also conducted on recycling used LED lamps and NdFeB magnets. However, researchers are divided into two groups on whether recycling and NTE production is economical or not. While one group thinks that recycling and NTE production is not an economical method because today's prices are not as high as they were between 2009-2011 and the lifespan of the products to be recycled is long, another group thinks that recycling and NTE production will be economical if high-capacity facilities are established and the recycling rate increases.

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL

Mining and Processing Processes: Soil and water pollution, decrease in air quality.

Some reserves contain radioactive elements such as thorium and uranium. Environmental Effects: E-waste pollutes soil and water resources.

Effects on Human Health: Respiratory diseases and radiation-related health problems.

ENVIRONMENTAL AND HEALTH RISKS

Effects of Mining: Pollution of soil, water and air. Dispersion of thorium and uranium into the environment. Increase in E-waste: Rapidly increasing electronic waste, low recycling rates.

Health Risks: High radiation exposure of workers in industrial areas.

CONCLUSION

Sustainable management of NTEs is of critical importance. Recycling should be a priority to reduce environmental damage. Investments should be made in new technologies and R&D studies. National and international collaborations should be encouraged.

Increasing green technologies are increasing the demand for rare earth elements (REE) in areas such as electric vehicles, solar panels and wind turbines. There is an increasing need to explore

and extract REE resources both on land and in ocean floor sediments. Deep sea mining and recovery of REE from coal ash, red mud and e-waste are seen as viable options in the future. However, careful monitoring is required to develop sustainable operating plans and not harm the environment.

The widespread use of REE leads to increased concentrations in the environment and potential risks to human health. Close monitoring is required in areas where phosphate-based fertilizers are used and in e-waste landfills. R&D studies to find substitutes for REE are important and advances in current technologies are insufficient. Innovative processes should be developed for the extraction and processing of REE from different sources. Analytical techniques, especially HR-ICP-MS, are of great importance in the accurate and precise determination of REE.

REFERANCES

Sander, S.G., Koschinsky, A., 2011. Metal flux from hydrothermal vents increased by organic complexation. *Nature Geoscience* 4, 145e150. Sandstrom, A., Fredriksson, A., 2012. Apatite for Extraction Leaching of Kiiirunavaaraapatite for Simultaneous Production of Fertilizers and REE, vol. XXVI. IMPC, pp. 4707e4714.

Vind, J., Malfliet, A., Blanpain, B., Tsakiridis, P.E., Tkaczyk, A.H., Vassiliadou, V., Panias, D., 2018. Rare earth element phases in bauxite residue. *Minerals* 8 (77), 32. <https://doi.org/10.3390/min8020077>.

Li, Y., Schieber, J., 2015. On the origin of a phosphate enriched interval in the Chattanooga Shale (Upper Devonian) of Tennessee d a combined sedimentologic, petrographic, and geochemical study. *Sedimentary Geology* 329, 40e61.

Lichte, F.E., Meier, A.L., Crock, J.G., 1987. Determination of rare-earth elements in geological materials by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analytical Chemistry* 59, 1150e1157.

Lide, D.R., 1997. Abundance of elements in the earth's crust and sea. In: *CRC Handbook of Physics and Chemistry*, 78th ed. CRC Press, Boca Raton, p. 14.

Liu, Z., 1988. The effects of rare earth elements on growth of crops V. In: Pais, I. (Ed.), *Proc. Int. Symp. New Results in the Research of Hardly Known Trace Elements and Their Role in Food Chain*. University of Horticulture and Food Industry, Budapest, p. 23

GRAPHITE DEPOSITS IN KAYSERI REGION AND TURKIYE GRAPHITE POTENTIAL

Assoc. Prof. Dr., Berna YAVUZ PEHLİVANLI¹⁻³

Yozgat Bozok University, Department of Geological Engineering¹; (Responsible Author)

berna.yavuz@yobu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0127-8525

Prof.Dr., Hatice KANBUR ÇAVUŞ²⁻³

YozgatBozok University, Institute of Hemp Research, Department of Material and Energy²,

hatice.kanbur@bozok.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8525-0313

Yozgat Bozok University Erdoğan Akdağ Campus , Bozok Technopark Inc., 219/1, Hadid
Energy, Industry and Trade Ltd. Co. 66100 Yozgat, Türkiye³

ABSTRACT

Graphite, a carbon mineral, has a soft and oily texture, capable of bending into thin sheets. Its value lies in its resistance to high temperatures and its unique properties of being both strong and weak. Predominantly found in metamorphic regions, graphite is especially present in schists and marbles near igneous rocks and possesses large reserves and high grades in regional metamorphic areas. Regional metamorphism involves the recrystallization of metamorphic rocks across extensive regions under high pressure and temperature. In Turkey, notable regional metamorphic areas include the Karakaya, Kırşehir, and Kozan Metamorphic Belts. The metamorphic rocks in Kayseri's Yahyalı area are influenced by the Kozan Metamorphic Belt, with the Yahyalı Pluton intruding into the metamorphic units of the Yahyalı Nappe, leading to skarn, iron, and lead-zinc mineralization. The mineralogical components of the metamorphic rocks in and around Kayseri include plagioclase, calcium clinoamphibole, biotite, chlorite, epidote, and apatite. Graphite content in this region has been analyzed using XRD for mineral content and XRF for elemental content, revealing low purity levels. The Karamadazi Pluton comprises rocks with quartz diorite/tonalite and leuco granite compositions. Graphite deposits in Kayseri hold substantial reserves in regional metamorphic areas. Graphite applications span the metallurgy and refractory industry (40-45%), automotive industry (15%), machine parts lubrication (15%), carbon brushes (10%), batteries (10%), and pencil lead production (5-10%). Turkey is not globally competitive in graphite production and meets its needs through imports. Approximately 6,000 tons of graphite are imported annually, mainly from Europe and China. Some of the imported graphite is originally exported from Turkey and re-imported at higher

prices, highlighting the need for detailed exploration of potential graphite fields in Turkey to meet domestic and international market demands.

Keywords: Kayseri graphite deposits, Regional metamorphism, Graphite mineralogy, XRD and XRF analyses, Graphite import and export

INTRODUCTION

Graphite deposits are quite common in Turkey and are found in various regions. There are also graphite deposits in the Kayseri region. Graphite formations in the Kayseri region are generally found in metamorphic rocks and marbles. Especially the mineralizations around the Yahyalı district contain graphite. These mineralizations are generally seen in nappe units consisting of carbonate rocks and have been detected as discordant ore veins along the nappes (Tekin 2009) (Figure 1).

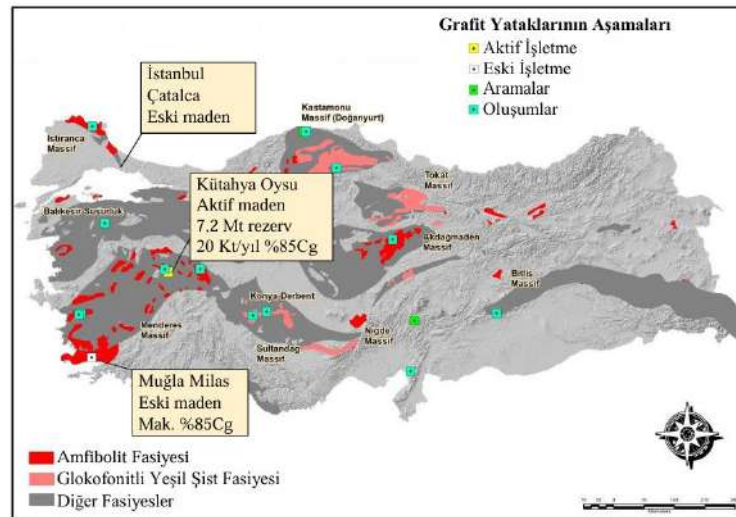


Figure 1. General distribution of graphite formations and deposits in Turkey and the lithological relationships of these formations with metamorphic rocks.

The metamorphic rocks of Kayseri, especially in the Akdağ metamorphic massif, have an important place. The metamorphic rocks in this region were formed as a result of geological processes that developed in the Paleozoic era and continued in the Mesozoic era. The Akdağ metamorphics are covered by the Tuzla Formation, which is represented by deep-sea limestones and volcanics. These metamorphic rocks are found on the surface in Felahiye and Özvatan districts and have been studied together with the metamorphic, magmatic and sedimentary rocks covering them in the immediate vicinity. The stratigraphic and tectonic features in this region

are related to the Kuştepe gabbro, Silahtar metagranite and Atdere fooid syenite located under the Akdağ metamorphics (Figure 2).

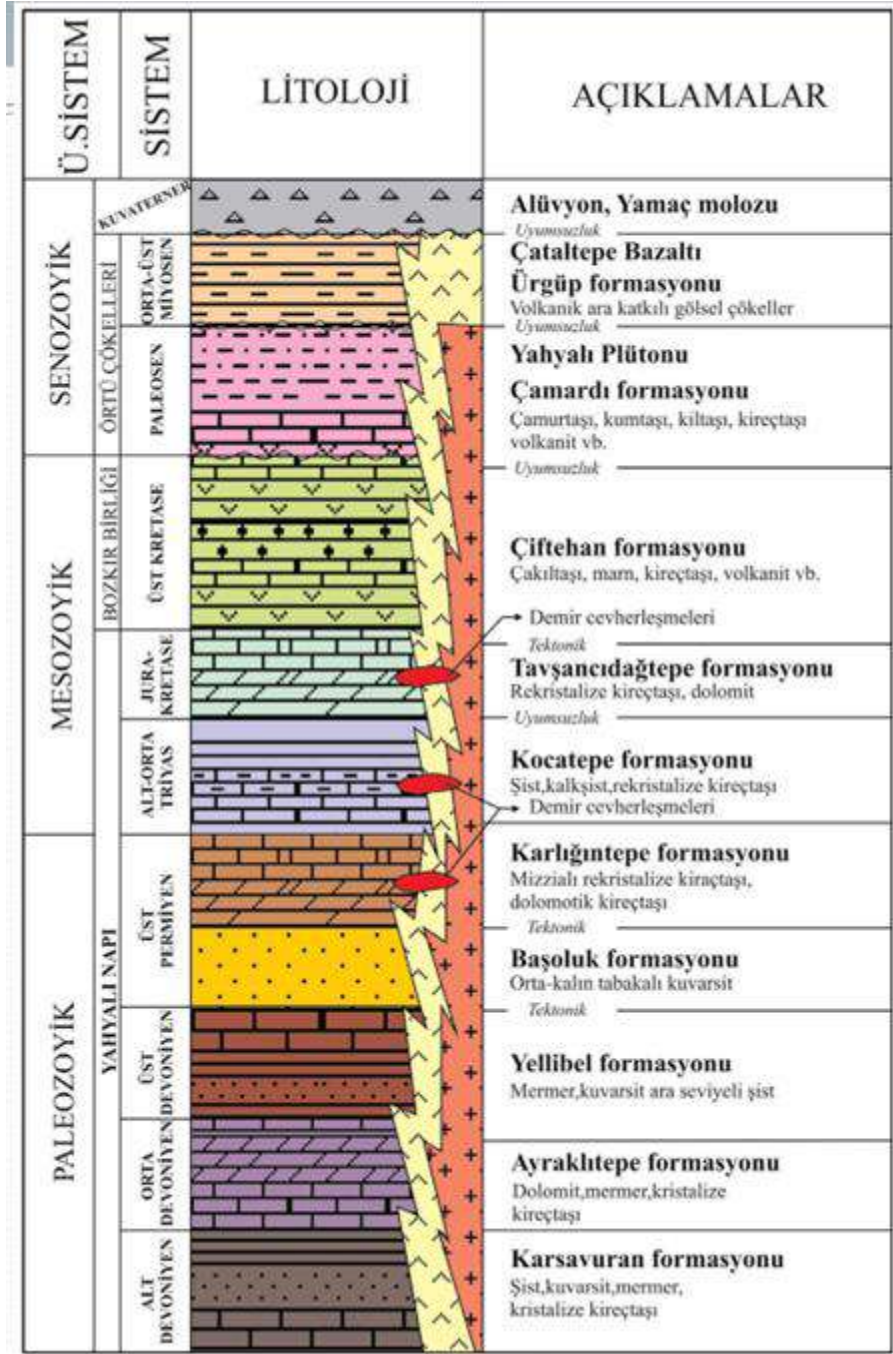


Figure 2. Generalized columnar section of Kayseri Metamorphics (Keskin and Alan, 2013).

The metamorphic rocks of Kayseri have significant value in terms of geological research and historical studies. These rocks provide critical information to understand the geological history and tectonic activities of the region. Graphite has an important place as a strategic raw material

used in many areas such as electric vehicles, paint industry, lithium batteries and electronic devices. The graphite deposits in this particular area of Kayseri are part of the country's general graphite reserves and these reserves play a critical role in meeting Turkey's energy and industrial needs. In the face of the increasing importance of natural resources throughout history, many countries, communities and the European Union (EU) have carried out and continue to carry out many studies on critical raw materials. The most important of these studies include the "Critical Raw Materials for the EU" report prepared by the European Union and the "Risk Lists" prepared by the British Geological Survey (BGS). In the "Critical Raw Materials for the EU" report, 41 raw materials were examined and 14 critical raw materials were determined. Graphite is among these 14 critical raw materials.

The British Geological Survey (BGS) created a risk criterion by examining 52 elements/element groups in 2011 and published the "Risk List 2011" list. In addition to this study, a separate study was conducted for industrial minerals in 2012 and the "BGS Industrial Minerals Risk List 2012" was prepared. Graphite is one of the important raw materials in these studies. The reasons why graphite is considered a strategic raw material are as follows:

- Excellent thermal conductivity
- Excellent electrical conductivity (Can be 20 times more conductive than copper)
- Important properties such as high heat resistance (Uysal, 2012a; Uysal, 2012b; Uysal, 2012c; EU Report, 2014)

Graphite is a carbon mineral (carbon minerals; coal, graphite and diamond) and has very different properties from coal and diamond. The density of coal is 1.3-1.9 g/cm³, that of graphite is 2.1-2.3 g/cm³, and that of diamond is 3.5 g/cm³.

Graphite is a gray-black opaque mineral (sometimes with an earthy-matte luster) with a metallic luster. It is one of four forms of pure crystalline carbon (the others are carbon nanotubes, diamond, and fullerenes).

The structure of diamond consists of a regular isometric structure in which each carbon atom is bonded to four other carbon atoms by strong covalent bonds - it is the hardest known mineral.

In graphite, the carbon atoms are bonded to only three other carbon atoms, forming extremely stable, two-dimensional layers. However, here each layer is weakly bonded to neighboring layers by van der Waals bonds.

The elements Si, Al, Fe, Ca, K, Mg, S, Ti, Na, Ba, Mn, V, Zr, Cr, Rb, Co, Sr, Zn, Gd, Ni, Mo, Au, Ga, Nb, Y, Pb, Pt, and Cu were detected in abundance according to their contents obtained from XRF analysis (Figure 3)

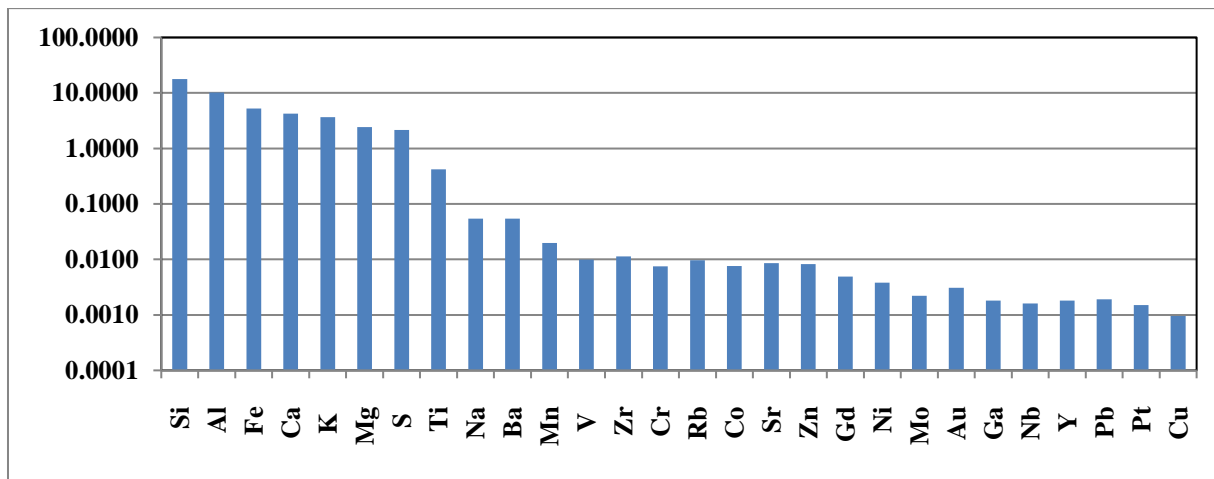


Figure 3. Elemental contents of Kayseri graphites.

Graphite peaks were determined according to XRD data and were also detected in minerals such as quartz, illite, pyrite, anatase (Figure 4).

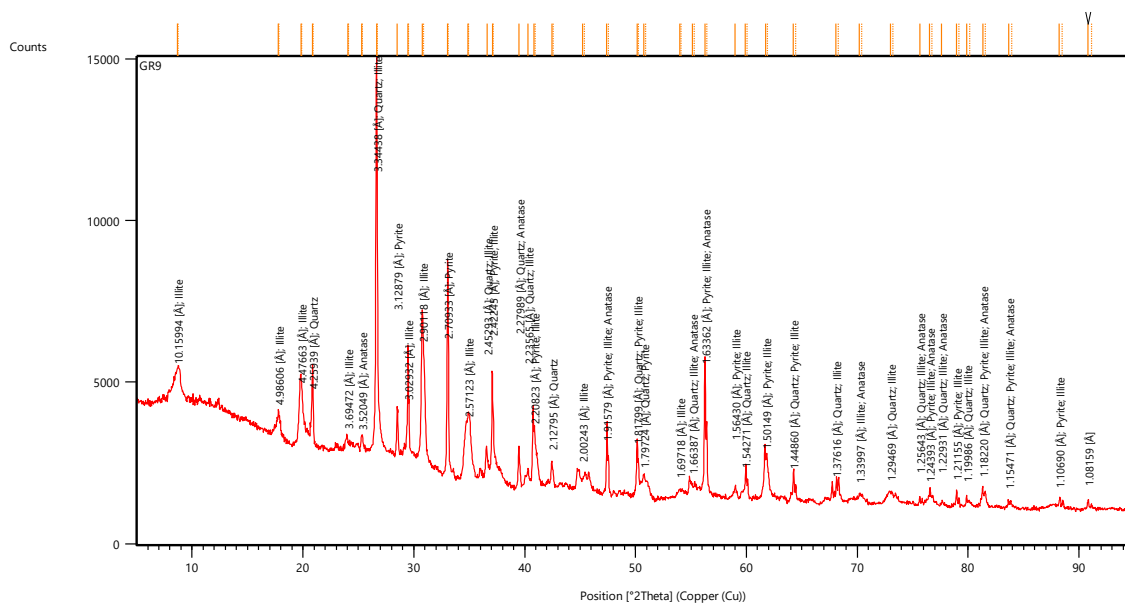


Figure 4. XRD data of Kayseri graphites.

CONCLUSION

The element and mineral contents of graphite deposits in the Kayseri region are quite diverse. According to the data obtained from XRF analyses, abundant elements such as Si, Al, Fe, Ca, K, Mg, S, Ti, Na, Ba, Mn, V, Zr, Cr, Rb, Co, Sr, Zn, Gd, Ni, Mo, Au, Ga, Nb, Y, Pb, Pt and Cu were detected in these deposits. In addition, graphite peaks were determined according to XRD data and were detected in minerals such as quartz, illite, pyrite, anatase. These element and mineral contents reveal the geochemical structure and economic potential of graphite formations in the Kayseri region. This diversity enables the use of graphite in the region in many industrial applications. As a result, graphite formations in the Kayseri region are an important part of Turkey's general graphite reserves and these reserves play a critical role in meeting the country's energy and industrial needs. Graphite is used as a strategic raw material in various industries and has important properties such as high thermal and electrical conductivity. Geological studies in Kayseri and its surroundings reveal the potential and value of graphite deposits in this region.

REFERANCES

1. Özvatan V. (1993), The Stratigraphy and tectonics of the cover rocks of the Akdağ metamorphic massive in the area around, 92 s., Ankara Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
2. Tekin, E. 2009. Yahyalı (Kayseri) çevresindeki kurşun-çinko yataklarının karşılaştırmalı eser element jeokimyası / Trace element geochemistry of the lead-zinc deposits in the Yahyalı (Kayseri) region. Cumhuriyet Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 81 s.
3. MTA 2017 Faaliyet Raporu, https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/kurumsal/belgeler/faaliyet_raporu_2017.pdf
4. USGS, 2020. Graphite Statistics and Information. <https://www.usgs.gov/centers/nmic/graphite-statistics-and-information> (son erişim 2020).

5. Keskin, H., Alan, İ. 2013. Yahyalı (Kayseri)–Dünderlı (Niğde) Arasında Kalan Alanın Jeolojisi (Doğu Toroslar'ın Jeodinamik Evrimi ve Metalojenezi Projesi), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No: 11612, 50, Ankara

YÜKSEK SİLİKA İÇERİKLİ BOKSİT CEVHERİNDEN ASİDİK LİÇ YÖNTEMİYLE NADİR TOPRAK ELEMENTİ KAZANIMI

Doç. Dr. Turan UYSAL

Gümüşhane Üniversitesi

turanuysal@gumushane.edu.tr - 0000-0003-1643-6725

ÖZET

Bu çalışmada, yüksek silika içeriği nedeniyle Bayer prosesinde kullanılmayan Kemiklitepe boksit cevherinden (Karaman, Türkiye) Nadir Toprak Elementlerinin (NTE) kazanılabilirliği araştırılmıştır. Öğütülmüş boksit cevheri, Na_2CO_3 ile 800-1000 °C aralığındaki sıcaklıklarda alkali kavurmaya ve ardından kavrulmuş boksit cevheri su ve asit liçi olmak üzere iki kademeli liç işlemine tabi tutulmuştur. Su liçi sonrası kalan liç atığının H_2SO_4 liçi sonucu cevherden toplam NTE kazanımı %89 olarak bulunmuştur. Bulgular, yüksek silika içeriğine sahip boksit cevherinin alkali kavurma ve H_2SO_4 liçi işlemleriyle etkili bir şekilde kazanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Boksit, Liç, Nadir Toprak Elementi.

1. GİRİŞ

Metalürjik kalite boksit cevherleri için alümina (Al_2O_3) miktarı ile reaktif silis (SiO_2) içeriği arasındaki kütle oran yani silis modülü Bayer prosesi için kritik öneme sahiptir. Reaktif silika, desilikasyon ürünü (DSP) olarak bilinen çözünmez sodyum alüminosilikat hidrata dönüşerek ciddi bir alümina ve kostik soda kaybına neden olmaktadır. Böylece Bayer prosesinin ekonomik olarak işleyebilmesi için prosese giren cevherin silis modülünün optimum bir değerde tutulması gerekmektedir. Optimum modülün boksit tipine ve teknik ekonomik koşullara bağlı olarak tesisten tesise değişiklik göstermesine rağmen alt sınır ortalamasının 7-8 civarında olduğu kabul edilmektedir. İyi kalite boksitlerin modül değeri 10'un üzerindedir¹. Ancak bu koşulu sağlayabilecek yüksek tenörlü boksit yatakları sınırlı sayıda ve rezervleri giderek azalmaktadır. Bunun yanında düşük modüllü boksit cevherleri daha geniş yayılım göstermekte ve daha büyük rezervler oluşturmaktadır. Bu tür cevherlerin yüksek silis içeriğinden dolayı Bayer prosesinde doğrudan kullanımları mümkün olamamaktadır. Boksitlerin yüksek silis içeriğinden kaynaklı sorunların çözümüne yönelik bazı araştırmacılar tarafından birtakım yöntemler geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemlerin uygulamadaki bazı teknolojik ve ekonomik zorluklarından dolayı silis sorunu

tam olarak çözülmüş değildir. Yüksek silisli boksitin verimli bir şekilde geliştirilmesi ve kullanılması, alümina endüstrisi için acil ve önemli bir zorluk haline gelmiştir².

Yüksek silisli boksitten alümina elde etmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin çoğu deneysel aşamadır ve sadece birkaçı endüstriyel olarak uygulanmıştır. Alkali metotlar alümina üretiminde iyi bir yere sahipken, asit metotları boksit atığının minimize edilmesi ve geri dönüştürülmesi gibi avantajlara sahiptir. Bu nedenle, alkali ve asit yöntemlerini birleştirmek için Sun vd., (2023) yüksek silisli boksitten Al_2O_3 ve SiO_2 ekstraksiyonunu sıfır atıkla gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Çalışmaya göre boksit cevheri Na_2CO_3 ile sinterlenerek aktive edilmiş, sonra sinterlenmiş numuneye su liçi yapılmış böylece sodyum alüminat çözeltisi elde edilmiştir. Su liçi sonucu çözünmeyen katı sülfürik asit liçine tabi tutularak SiO_2 ve kalan Al_2O_3 yüklü liç çözeltisine alınmış, bu yüklü çözeltiden ise polimerizasyon yoluyla silika jel ve polialüminyum ferrik sülfat üretimi gerçekleştirilmiştir². Valeev vd., (2023) yaptığı çalışmada Severoonezhsk (Rusya) böhmitik boksit cevheri yüksek silika içeriğine ($\mu_{Si}<3$) sahip olup Bayer prosesinde kullanılamaz niteliktedir. Asidik ve alkali yöntemlerin avantajlarını birleştiren bisülfat yöntemi (H_2SO_4 ve NH_4SO_4) uygulanmıştır. Çalışmada liç sıcaklığı (130-200 °C), çözelti-cevher oranı (8-12) ve liç süresinin (5-90 dakika) Al ve NTE çözünürlükleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Al, Fe ve Ga çözünürlüklerinin $>90\%$ olduğu, silis ve titanyanın ise çoğu atıkta (kekta) kaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, %70-80'lik bir NTE liç verimi sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yüksek silisli boksitlerin işlenmesi için etkili bir teknolojinin olabileceği belirtilmiştir³. Li vd., (2022) yaptıkları çalışmada, yüksek silisli boksitten ön kavurma ve iki aşamalı liçten oluşan yeni bir sıfır atık prosesi önermiştir. Prosese göre kavurma sıcaklığı 310 °C'nin üzerine çıktığında boksitteki diaspor ve kaolinit kristal suyunu kaybederek yavaş yavaş sırasıyla alümina ve metakaoline dönüşmüştür. Kavurma sıcaklığı 950 °C'nin üzerine çıktığında ise metakaolin amorf bir alüminosilikat fazına ve silikaya ayrılmıştır. Kavurma sıcaklığı ve süresi arttıkça ayrılan alümina ve silikanın kristalliği artmakta, böylece boksitin liç verimi düşmektedir. Liç için en uygun kavurma koşulları; 1050 °C'de 30 dakika olarak belirlenmiştir. Al_2O_3 ve SiO_2 'nin liç verimleri sırasıyla %94 ve %88'in üzerinde bulunmuştur⁴.

Dünya emtia arzı ve talebi göz önüne alındığında NTE'ler kritik hammaddelerin en başında yer almaktadır⁴. NTE'ler, kalıcı mıknatıslar (elektrikli araçlar, güneş panelleri ve rüzgâr türbinleri), elektrik-elektronik cihazlar, şarj edilebilir piller (NiMH piller), modern tıp cihazları gibi ileri teknolojik pek çok cihaz ve ekipmanın üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar^{5,6}. Bu nedenle ülkeler U ve Th içeriği düşük olan kırmızı çamur⁷, uçucu küller⁸, özellikle iyonik killer^{9,10}, boksit³ ve boksit ilişkili cevherler^{11,12} gibi ikincil jeolojik kaynaklardan NTE üretimi arayışına girmişlerdir. Bu çalışmada da silis içeriğinin yüksek olması nedeniyle teknolojik olarak Bayer prosesinde kullanılmayan boksit cevherlerinden NTE ve Al kazanımı araştırılmıştır. Bu kapsamda, Kemiklitepe boksit cevheri asidik liç yöntemiyle sürdürülebilir kaynak kullanımı açısından değerlendirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme

Demireller Madencilik A.Ş.'ye ait ocaklardan Kemiklitepe boksit cevheri kırma-eleme tesisinden kırılmış, harmanlanmış cevher temsili olarak alınmıştır. Kemiklitepe boksit cevheri başlıca; diaspor, hematit, anataz ve albit içermekte, NTE minerali olarak ise seriyanit ve allanit minerallerinden oluşmaktadır. Cevher, Toros dağlarının Mersin'le Karaman arasındaki Bolkardağları kesiminde yer alan Kemiklitepe (Ayrancı, Karaman) yataklarından sağlanmıştır.

2.2. Yöntem

Kırma-eleme tesisinden alınan yaklaşık 2 mm boyutundaki cevherin sertliğinin yüksek olmasından dolayı çelik bilyeli değirmen ile 300 µm boyutuna öğütülmüştür. Öğütülmüş cevher ASTM E-11 tip test elekleriyle elenmiştir. Boyut küçültme işlemi tamamlanan cevher, döner örnekleyici ile eşit miktarda homojen olarak altı parçaya ayrılmış, deneylerde kullanılmak üzere poşetlerde saklanmıştır.

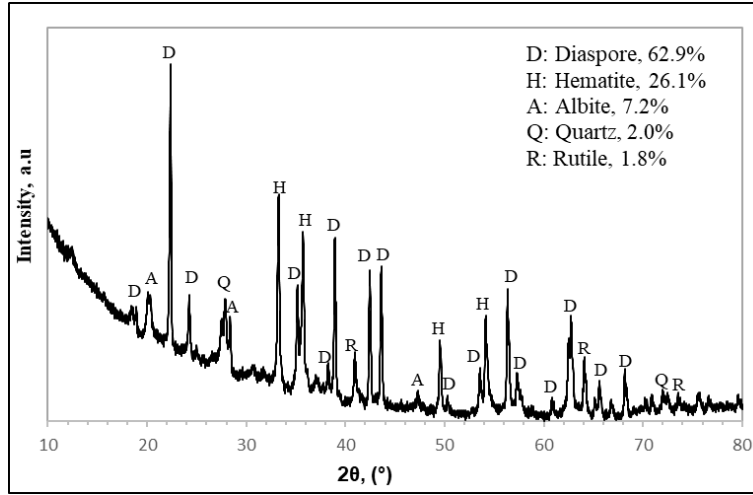
Diasporitik boksitlerden önemli oranda Al ekstraksiyonu elde etmek için yüksek sıcaklık (>250 °C) ve yüksek alkali konsantrasyonu (>200 g/L Na₂O) gereklidir. Na₂CO₃ oldukça ekonomik olup endüstride kullanılmaktadır. Cevherin çözündürülmesine katkı sağlamak için alkali kavurma öncesi Na₂CO₃ ile cevher numuneleri karıştırılmıştır. Sinterleme katkı maddelerinin dozajları genellikle boksitteki ana bileşenlerin içeriklerine göre belirlenir. Bu çalışmada, CaO yokluğu nedeniyle hem Al₂O₃ hem de SiO₂, Na₂CO₃ ile reaksiyona girecektir. Bu nedenle, Na₂CO₃ dozajının kontrol edilmesinde gösterge olarak Na₂O/(Al₂O₃ + SiO₂) molar oranı kullanılmıştır. Karışım, daha önce yayınlanmış çalışmaya (Sun vd., 2023) dayanarak Na₂O/(Al₂O₃ + SiO₂) mol oranı 1 olacak şekilde hazırlanmıştır².

Liç deneyleri, 500 cm³ yatak hacmine sahip balon ısıtıcı cihazına yerleştirilmiş 500 cm³ cam balonda, manyetik karıştırıcıyla karıştırılabilen, geri soğutucu altında, çözelti sıcaklığının sürekli olarak gözetlendiği, çeker ocak içerisinde kurulmuş bir düzenele kesikli olarak gerçekleştirilmiştir. Balon ısıtıcısında ayrıca bir de manyetik karıştırma olanağı da olduğundan karıştırma işlemi için dışarıdan bir karıştırıcıya ihtiyaç duyulmayacaktır. Yüklü liç çözeltisindeki elementel NTE analizi ICP-MS ile yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Boksit Cevherinin Karakterizasyonu

Kemiklitepe boksit cevherinin mineralojik içeriği XRD analiziyle belirlenmiş ve Şekil 1’de verilmiştir. Buna göre cevherde bulunan başlıca mineraller, diaspor (α -AlOOH), kuvars (SiO_2), hematit (Fe_2O_3), albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) ve rutildir (TiO_2).



Şekil 1. Kemiklitepe boksit cevherinin XRD deseni

Alınan numunenin ICP analizi ALS Global Analiz Laboratuvarlarında (Galway, İrlanda) yapılmış olup major oksitler için ICP-AES ve NTE analizi için ise ICP-MS analizlerinin kombinasyonu olan ME-MS81d kodlu analiz paketi yapılmıştır. ICP-AES analiz sonucu Çizelge 1’de, NTE analizi için yapılan ICP-MS sonucu ise Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. ICP-AES analiz sonucuna Kemiklitepe boksit cevherinin kimyasal içeriği

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	A. K
15,6	47,8	22,4	0,40	0,06	1,50	0,63	2,43	0,06	0,10	9,62

Çizelge 2. ICP-MS analiz sonucuna göre Kemiklitepe boksit cevherinin kimyasal içeriği

Ce	La	Y	Nd	Nb	Sc	Pr	Dy	Er	Gd	Sm
307	202	148	143	58,4	2,4	38,1	23,8	15,2	21,70	24,80
Yb	Ho	Lu	Eu	Tb	Tm	Toplam	Rb	Th	U	
15,40	5,03	2,40	4,83	3,70	2,36	1017	24,2	50,2	7,51	

Mineralojik analizlerin sonuçlarına bakılırsa, Al₂O₃ kaynağının diaspor, Na₂O’nun kaynağının ise albit olduğu açıktır. Bunlarla birlikte, cevherdeki Fe₂O₃’ün varlığının sebebi ise hematit olup bunun yanı sıra

demir oksitler yer kabuğunun yüzeye yakın bölümlerinde birincil ya da ikincil oluşumlu olarak bolca bulunmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 2’de Toplam NTE içeriği 1017 ppm olup Hepvidinli (2019) tarafından bu yatak ile ilgili yapılan çalışma içeriğine (1043 ppm) oldukça yakın değerde içeriğe sahiptir¹³. Ayrıca cevherin silis modülünün (Al_2O_3/SiO_2 : 3,06) Bayer prosesine uygun olmadığı silis içeriğinin yüksek olduğu görülmektedir. Böylece cevherin NTE kaynağı olarak değerlendirilebilir bir niteliğe sahip olduğu belirlenmiştir.

3.2. Asit Liçi Deneyleri

Alkali kavurma işlemiyle, diaspor ve kaolinit öncelikle $Na_{2-x}Al_{2-x}Si_xO_4$ ($x= 0, 0.05$ ve 0.25) ve yeterli Na_2CO_3 ile tamamen reaksiyona girerek amorf bir faza dönüşmüştür. Asit liçi işleminde ise neredeyse tamamen çözülmektedir. Su liçi ve asit liçi sonucu NTE ve majör oksit içerikleri Çizelge 3’te, kazanım değerleri ise Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 3. Su liçi sonucu majör oksit ve NT elementlerinin içeriği

	Ce, ppm	La, ppm	TNTE, ppm	SiO ₂ , %	Al ₂ O ₃ , %	Fe ₂ O ₃ , %	CaO, %	Na ₂ O, %	TiO ₂ , %	LOI
Tüvenan cevher	307	202	1018	15,60	47,80	22,40	0,40	1,5	2,43	9,62
950 °C su liçi	367	208	1137	16,60	16,05	25,60	0,43	14,7	2,81	20,1
950 °C asit liçi	130	77	409	6,5	18,3	9,23	0,18	34,5	1,02	25,4

Çizelge 4. Asit liçi sonucu majör oksit ve NT elementlerinin kazanımı değerleri

	Ce, ppm	La, ppm	TNTE, ppm	SiO ₂ , %	Al ₂ O ₃ , %	Fe ₂ O ₃ , %	CaO, %	Na ₂ O, %	TiO ₂ , %
950 °C su liçi	85,64	69,11	68,25	68,08	89,93	65,7	67,75	-	65,31
950 °C asit liçi	89,41	88,85	89,21	88,3	65,8	89,2	87,4	29,6	89,1

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Kemiklitepe boksit cevheri (Karaman-Türkiye) mineralojik ve kimyasal olarak karakterize edilmiştir. Buna göre, cevher başlıca; diaspor, hematit, kuvars, albit ve rutil içermektedir. Cevherin ortalama toplam NTE içeriği 1018 ppm olup değerlendirilebilir bir içeriğe sahiptir. Ayrıca %47,8 Al_2O_3 ve %15,6 SiO_2 içermektedir ve silika içeriği Bayer prosesi için oldukça yüksektir. 950 °C’de alkali kavrulan cevherin su liçi atığının H_2SO_4 liçi sonucu NTE kazanımı %89, Al kazanımı ise %66 olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, cevherden NTE ve Alüminyumun yüksek verimle kazanılabileceği belirlenmiştir.

Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmayı 24.F5118.04.02 numaralı Proje aracılığıyla finansal olarak destekleyen GÜBAP2904 Madencilik Uzmanlık Destek Programı'na ve Ayrancı'dan (Karaman, Türkiye) şist cevheri örnekleri sağlayan Demireller Madencilik A.Ş.'ye teşekkürlerini sunarlar.

References

1. Jiang, Y., Li, W., Feng, R. Preparation and Performance of 4-Alkyl-4,4-Bis (Hydroxycarbamoyl) Carboxylic Acid For Flotation Separation of Diaspore Against Aluminosilicates, *Minerals Engineering*, 24, 1571-1579, 2011.
2. Sun, Y., Pan, A., Ma, Y., Chang, J. Extraction of alumina and silica from high-silica bauxite by sintering with sodium carbonate followed by two-step leaching with water and sulfuric acid, *RSC Adv.*, 13, 23254, 2023.
3. Valeev, D., Shoppert, A., Dogadkin, D., Romashova, T., Kuz'mina, T., Salazar-Concha, S. Extraction of Al and rare earth elements via high-pressure leaching of boehmite-kaolinite bauxite using NH_4HSO_4 and H_2SO_4 , *Hydrometallurgy*, 215, 105994, 2023.
4. Li, Y., Pan, X., Lv, Z., Wu, H., Yu, H. Multi-element comprehensive utilization of high-silicon bauxite by roasting pretreatment and two-stage leaching, *Minerals Engineering*, 187, 107805, 2022.
5. Krishnamurthy, N., Gupta, C. K. *Extractive Metallurgy of Rare Earths (Second Edition)*, CRC Press-Taylor & Francis Group, 2016.
6. Ünal E.C., Karacahan, M., Uysal, T. Hydrometallurgical roadmaps and future strategies for recovery of rare earth elements, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 2023.
7. Borra, C.R., Blanpain, B., Pontikes, Y., Binnemans, K., Gerven, T.V. Recovery of Rare Earths and Other Valuable Metals From Bauxite Residue (Red Mud): A Review, *J. Sustain. Metall.* 2:365–386, 2016.
8. Jha, M.K., Kumari, A., Panda, R., Kumar, J.R., Yoo, K., Lee, J.Y. Review on hydrometallurgical recovery of rare earth metals, *Hydrometallurgy*, 165, 2-26, 2016.
9. Yang, X.J., Lin, A.J., Li, X.L., Wu, Y.D., Zhou, W.B., Chen, Z.H. China's ion-adsorption rare earth resources, mining consequences and preservation, *Environmental Development*, 8, 131-136, 2013.
10. Papangelakis, V.G., Moldoveanu, G.A. Recovery of rare earth elements from clay minerals, In: *Proceedings of the 1st Rare Earth Resources Conference*, Milos, 191-202, 2014.

11. Öztürk, H., Hanilçı, N., Altuncu, S., Kasapçı, C. Rare earth element (REE) resources of Turkey: an overview of their characteristics and origin, Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 159: 143-129, 2019.
12. Uysal T., Kıyak T., Erüst Ü. C., Sis H., Erdemoğlu M., Kıyak T. Characterization Of Kızıldağ (Karaman-Turkey) Shale Ore For REE Recovery, 9th International Congress Of Mining Machinery and Technologies, İzmir, 2023.
13. Hepvidinli, B. Kızıldağ ve Kemiklitepe (Ayrancı-Karaman) Boksit Cevherleşmeleri ve İlişkili Kaynak Kayaçlarının Nadir Toprak Element İçeriklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2019.

ARAZİ VE ÇATI TİPİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Emrah DEMİRTAŞ

Amasya Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü
emrahdemirtas86@gmail.com- 0009-0006-3315-8631

Dr. Erhan BERGİL

Amasya Üniversitesi- Mühendislik Fakültesi
erhan.bergil@amasya.edu.tr- 0000-0002-6526-1661

ÖZET

Gün geçtikçe artan enerji maliyetlerinin yükünü hafifletmek için birçok işletme arayış içindedir. Yatırım maliyetlerinin düşmesi ve işletme bakım maliyetlerinin düşük olması sebebiyle Güneş Enerji Santralleri, bu işletmelerin elektrik giderlerinin azaltılması, tamamen karşılanması veya bir miktar ek gelir elde etme hususunda bir çözüm oluşturmaktadır. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği kapsamında kurulan güneş enerji santralleri, işletmelerin tükettiği elektriğin bir kısmını veya tamamını güneş enerjisinden karşılanmasına hatta tüketimden fazla üretilen elektriğin bir kısmının satışının yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Günümüzde yaygın olarak çatı tipi ve arazi tipi güneş enerji santralleri kurulmaktadır. Burada çatı tipi güneş enerji santralleri, lisanssız elektrik üretim yönetmeliğinin 5. Maddesinin birinci fıkrasının (c) bendi uyarınca belirlenecek kurulu gücü ve sözleşme gücünü geçmeyecek, tüketim tesisi ile aynı ölçüm noktasındaki güneş enerji santralini; Arazi Tipi güneş enerji santralleri ise lisanssız elektrik üretim yönetmeliğinin 5. Maddesinin birinci fıkrasının (h) bendi uyarınca, tüketim tesisi ile üretim tesisinin farklı noktalarda olduğu güneş enerji santrallerini belirtmektedir.

Bu çalışmamızda bir güneş enerji santralinin üretim ve tüketim noktası aynı olacak şekilde çatıya kurulması veya üretim ve tüketim noktası farklı olacak şekilde araziye kurulması durumlarının yatırım maliyeti, enerji üretim değerleri ve dağıtım bedelleri açısından karşılaştırılmalı analizleri gerçekleştirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerji Santrali, Yenilenebilir Enerji, Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği

1. GİRİŞ

12 Mayıs 2019 tarihinde yürürlüğe giren Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği, elektrik ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamak isteyen birçok işletme, mesken, sanayi ve kamu kuruluşları için bir çözüm oluşturmaktadır.

EPDK tarafından yayınlanan Eylül 2024 Elektrik Piyasası sektör raporundaki verilere göre elektrik ihtiyacını Lisanssız elektrik üretim yönetmeliği kapsamında karşılamak isteyen tüketim tesislerinin en çok tercih ettiği üretim tesisi %96,02 oranla Güneş Enerji Santralleri olmuştur.[1] Güneş enerji santralleri yaygın olarak arazi ve çatı tipi olarak kurulmaktadır. Arazi ve çatı tipi güneş enerji santrali kurulumları arasında yönetmelik açısından birtakım farklılıklar ve sınırlamalar bulunmaktadır.

Bu çalışmada arazi ve çatı tipi güneş enerji santrallerinin yönetmelik açısından, enerji üretim değerleri açısından farklılıkları ve karşılaştırmalı analizleri gerçekleştirilecektir.

2. YÖNETMELİK AÇISINDAN FARKLILIKLAR

Bir elektrik tüketicisi ihtiyacı olan elektrik enerjisini lisanssız elektrik üretim yönetmeliği kapsamında çatı veya araziye kurabileceği güneş enerji santrali aracılığıyla karşılayabilir. Hatta burada belirli bir miktara kadar ürettiği fazla elektriğin şebekeye satışını gerçekleştirerek ek gelir elde edilebilir.

Lisanssız elektrik üretim yönetmeliğinin 5. Maddesinde lisans alma ve şirket kurma muafiyeti kapsamındaki durumlar belirtilmiştir. Yönetmeliğin 11. Maddesinin 3. Fıkrasında “Bu Yönetmelik kapsamında faaliyet göstermek isteyen kişiler, bağlantı anlaşmasındaki sözleşme gücünü ve 5 inci maddenin birinci fıkrasının (c) bendi uyarınca belirlenecek kurulu gücü geçmeyecek şekilde tüketim tesisi ile aynı ölçüm noktasında, dağıtım tesisi niteliğinde tesis teçhiz etmeden, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi kurabilir. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri ancak çatı ve cephe uygulaması olarak gerçekleştirilebilir” denilmektedir. Bu maddeye istinaden tüketim tesisi ile aynı ölçüm noktasında üst sınırı yönetmeliğin 5. Maddesinin 1. Fıkrasının ‘c’ bendinde belirtilen gücü geçmeyecek şekilde çatı ve cephe uygulamalı güneş enerji santrali kurulabilmektedir.

Yönetmeliğin 5. Maddesinin 1. Fıkrasının ‘h’ bendinde ise; “Belediyeler ve bunların bağlı kuruluşları ile sanayi tesisleri ve tarımsal sulama amaçlı tesisler tarafından bağlantı anlaşmasındaki sözleşme gücünün iki katı ve diğer kişiler bağlantı anlaşmasındaki sözleşme gücü ile sınırlı olmak kaydıyla, tüketim tesisi ile aynı ya da farklı ölçüm noktasında kurulan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi,” denilmektedir. Bu maddeye istinaden, tüketim ile üretimin farklı yerlerde olduğu arazi tipi güneş enerji santrali kurulabilmektedir.

Yönetmeliğin 11. Maddesinin 3. Fıkrası kapsamında kurulan çatı ve cephe uygulamalı güneş enerji santralleri için dağıtım bedelleri yönünden çeşitli muafiyetler vardır. Bu husus EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu) tarafından 30 Aralık 2021 tarihli 10699 sayılı kurul kararında düzenlenmiştir. Kurul kararında aynı ölçüm noktasında kurulan lisanssız elektrik üretim tesisleri için “Dağıtım bölgesinde aynı ölçüm noktasında kurulan lisanssız elektrik üretim tesisleri ve bu tesisler ile ilişkilendirilen tüketim tesislerinde, tüketimi aşan üretim miktarına lisanssız üreticilere ilişkin tek terimli dağıtım tarifesi uygulanır. Üretim ve tüketimin dengelendiği veriş yönündeki enerji miktarı için söz konusu dağıtım tarifesi üzerinden %100 indirim yapılır. Üretimi aşan tüketim miktarına ise ilişkili tüketim tesisinin dahil olduğu abone grubu için onaylanan dağıtım bedeli uygulanır. Üretim ve tüketimin dengelendiği çekiş yönündeki enerji miktarı için söz konusu dağıtım bedeli üzerinden %50 indirim yapılır” denilmektedir. Farklı ölçüm noktasında kurulan lisanssız elektrik üretim tesisleri için ise;

“Dağıtım bölgesinde farklı ölçüm noktasında kurulan, lisanssız elektrik üretim tesislerinde üretilen ve bu tesisler ile ilişkilendirilen tüketim tesislerinde tüketilen enerjinin tamamı için dağıtım sisteminin kullanımına ilişkin bedeller ayrı ayrı uygulanır” denilmektedir. Bu durum için Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1- Dağıtım bedelleri uygulama çizelgesi

Tesis Tipi (Madde/Fıkra/Bent No)	Elektrik Veriş Miktarı (kWh)	Elektrik Çekiş Miktarı (kWh)	Dağıtım Bedeli Veriş (DBV) (TL/kWh)	Dağıtım Bedeli Çekiş (DBÇ) (TL/kWh)
5/1/c 11/3	100	100	-	100*DBÇ*0,5
	150	100	50*DBV	100*DBÇ*0,5
	100	150	-	(100*DBÇ*0,5) + (50*DBÇ)
5/1/h	100	100	100*DBV	100*DBÇ
	150	100	150*DBV	100*DBÇ
	100	150	100*DBV	150*DBÇ

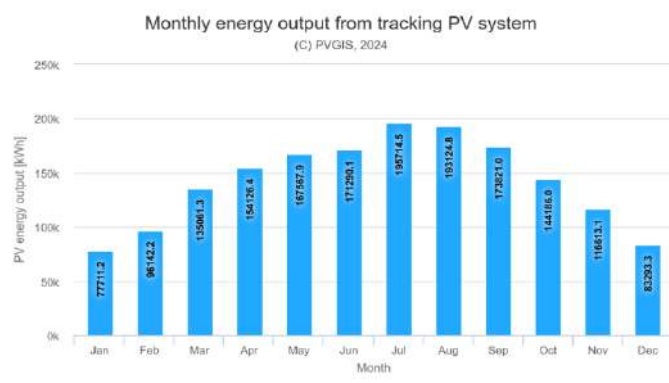
3. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZLER

3.1. Üretim Verileri Karőılaőtirmaları

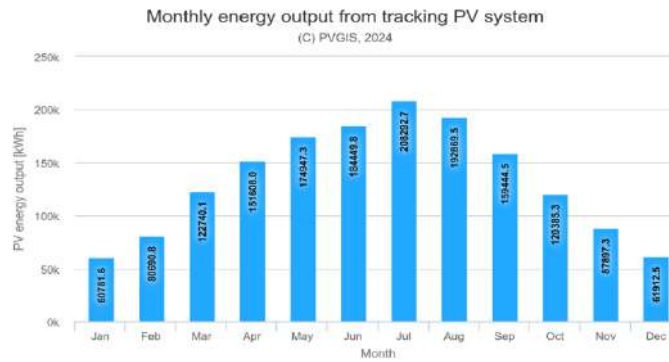
Arazi tipi güneş enerji santrallerinde üretim değerleri çatı tipi güneş enerji santrallerine göre daha fazla olabilmektedir. Bunun sebebi arazi tipi güneş enerji santrallerinin eğim açısı güneşe göre optimum düzeyde tutulurken, çatı tipi güneş enerji santrallerinde genellikle çatının eğim açısına göre ayarlanır.

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)[2] üzerinden aynı lokasyona ait bir noktada hem arazi tipi hem de çatı tipi güneş enerji santrali için üretim analizleri yapılmıştır. Arazi tipi güneş enerji santralinin üretim verilerinin analizi yapılırken kurulu güç 1 MWp (MegaWatt peak) olarak belirlenmiş, optimum eğim açısının ise kurulum yapılacak lokasyona göre program tarafından belirlenmesi istenmiştir ve bu değer 33° derece olarak bulunmuştur. Çatı tipi güneş enerji santrali için kurulu güç 1MWp olarak belirlenmiş, eğim açısı ise ortalama bir işletme çatısının eğimi açısı olan 10° derece olarak alınmıştır.

Arazi ve çatı tipi güneş enerji santrallerinin PVGIS sistemi üzerinde alınan üretim verileri görsel 1 ve görsel 2’de verilmiştir. 1 MWp gücünde 33° derece eğim açısı ile araziye kurulan bir güneş enerji santralinin yıllık üretebileceği enerji miktarı 1.708.652 kWh (KiloWatt hour) olarak bulunmuştur. Aynı lokasyonda, aynı güçte ve 10° derece eğim açısı ile çatıya kurulacak bir güneş enerji santralinin yıllık enerji üretim değeri ise 1.606.019 kWh olarak hesaplanmıştır.



Görsel 1-Aylara göre arazi tipi GES üretim değerleri



Görsel 2-Aylara göre çatı tipi GES üretim değerleri

3.2. Sayısal Analizler

Hesaplamlarda kullanılacak perakende tek zamanlı enerji ve dağıtım bedelleri EPDK tarafından yayınlanan güncel elektrik faturalarına esas tarife tablolarından alınmıştır. Analizler yapılırken kullanılan tüketim verileri için bir işletmenin aylık sabit bir şekilde 125.000 kWh elektrik tükettiği varsayılmıştır. Elektrik faturalarına esas tarife tablolarında bulunan “kamu ve özel hizmetler sektörü ile diğer” abone grubuna ait yaklaşık 3,06 TL olan perakende tek zamanlı enerji bedeli ve aynı abone grubuna ait yaklaşık 1,17 TL olan dağıtım bedeli baz alınmıştır. Ayrıca lisanssız üreticilere ilişkin tek terimli dağıtım tarifesi olarak yaklaşık 0,37 TL baz alınmıştır.

Bu hesaplamalar için bir excel tablosu hazırlanmıştır. Arazi tipi güneş enerji santrali için yapılan hesaplamalar Çizelge 2’de verilmiştir. Burada PVGIS sistemi üzerinden alınan aylara göre olan üretim verileri çizelgeye girilmiş ve tüketim değeri olarak da her ay için 125.000 kWh olarak belirlenmiştir. Çizelgeyi incelediğimizde, araziye güneş enerji santrali kurulması durumunda yıllık toplamda 2.388.452 TL dağıtım bedeli ödeneceği öngörülmektedir. Üretilen enerjisinin fazlasının satışından sağlanacak gelir miktarı ise 638.618 TL’dir. Bu durumda yatırım sonrası, işletmenin yıllık 1.749.834 TL fatura ödemesi beklenmektedir. Güneş enerji santralinin hiç kurulmaması durumunda bu işletmenin ödeyeceği fatura miktarı 6.348.438 TL olarak hesaplanmıştır. Yatırım sonrası yıllık faydası 4.598.604 TL olarak belirlenmiştir. Bu hesaplamalara vergiler dahil edilmemiştir.

Çatı tipi güneş enerji santrali için yapılan hesaplamalar Çizelge 3’te verilmiştir. Burada PVGIS sistemi üzerinden alınan aylara göre olan üretim verileri çizelgeye girilmiş ve tüketim değeri olarak da her ay için 125.000 kWh olarak belirlenmiştir. Çizelgeyi incelediğimizde çatı tipi güneş enerji santrali kurulması durumunda yıllık toplamda 1.123.777 TL dağıtım bedeli ödeneceği öngörülmektedir. Üretilen enerjisinin fazlasının satışından sağlanacak gelir miktarı

ise 324.492 TL'dir. Bu durumda yatırım sonrası, işletmenin yıllık 799.285 TL fatura ödemesi beklenmektedir. Güneş enerji santralinin hiç kurulmaması durumunda bu işletmenin ödeyeceği fatura miktarı 6.348.438 TL olarak hesaplandığından yatırım sonrası yıllık faydası 5.549.153 TL olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2-Arazi tipi GES hesaplama çizelgesi

ARAZİ TİPİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ							
ELEKTRİK GÜNCEL FİYATLARI							
Abone Grubu	Aktif Enerji Birim Fiyatı (TL/kWh)	Dağıtım Bedeli Çekiş (TL/kWh)	Dağıtım Bedeli Veriş (TL/kWh)				
Ticarethane	₺3.06	₺1.17	₺0.37				
Üretim	Aylık DBV Bedeli	Tüketim	Aylık DBÇ Bedeli	Kalan			
Ocak	77,711 kWh	28,700 ₺	125,000 kWh	146,451 ₺	Alış	-47,289 kWh	-144,736 ₺
Şubat	96,142 kWh	35,507 ₺	125,000 kWh	146,451 ₺	Alış	-28,858 kWh	-88,325 ₺
Mart	135,061 kWh	49,881 ₺	125,000 kWh	146,451 ₺	Satış	10,061 kWh	30,794 ₺
Nisan	154,126 kWh	56,922 ₺	125,000 kWh	146,451 ₺	Satış	29,126 kWh	89,147 ₺
Mayıs	167,568 kWh	61,887 ₺	125,000 kWh	146,451 ₺	Satış	42,568 kWh	130,287 ₺
Haziran	171,290 kWh	63,261 ₺	125,000 kWh	146,451 ₺	Satış	46,290 kWh	141,679 ₺
Temmuz	195,715 kWh	72,282 ₺	125,000 kWh	146,451 ₺	Satış	70,715 kWh	216,435 ₺
Ağustos	193,125 kWh	71,325 ₺	125,000 kWh	146,451 ₺	Satış	68,125 kWh	208,509 ₺
Eylül	173,821 kWh	64,196 ₺	125,000 kWh	146,451 ₺	Satış	48,821 kWh	149,426 ₺
Ekim	144,186 kWh	53,251 ₺	125,000 kWh	146,451 ₺	Satış	19,186 kWh	58,722 ₺
Kasım	116,613 kWh	43,068 ₺	125,000 kWh	146,451 ₺	Alış	-8,387 kWh	-25,670 ₺
Aralık	83,293 kWh	30,762 ₺	125,000 kWh	146,451 ₺	Alış	-41,707 kWh	-127,651 ₺
TOPLAM	1,708,652 kWh	631,043 ₺	1,500,000 kWh	1,757,409 ₺	Toplam Satış	334,892 kWh	1,024,999 ₺
					Toplam Alış	-126,240 kWh	-386,382 ₺
					TOPLAM	Gelir(+)/Gider(-)	638,618 ₺
ÖDENECEK TOPLAM DAĞITIM BEDELİ		2,388,452 ₺		YILLIK FAYDA		YATIRIM BEDELİ	
ENERJİ SATIŞ GELİR(+)/GİDER(-)		638,618 ₺					
YATIRIM SONRASI (GELİR-GİDER)		-1,749,834 ₺					
ESKİ ELEKTRİK GİDERİ		6,348,438 ₺					
NET KAR / FAYDA (YILLIK)		4,598,604 ₺		\$131,389		\$550,000	

Çizelge 3-Çatı tipi GES hesaplama çizelgesi

ÇATI TİPİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ							
ELEKTRİK GÜNCEL FİYATLARI							
Abone Grubu	Aktif Enerji Birim Fiyatı (TL/kWh)	Dağıtım Bedeli Çekiş (TL/kWh)	Dağıtım Bedeli Veriş (TL/kWh)				
Ticarethane	₺3.06	₺1.17	₺0.37				
Üretim	Aylık DBV Bedeli	Tüketim	Aylık DBÇ Bedeli	Kalan			
Ocak	60,782 kWh	0 ₺	125,000 kWh	110,845 ₺	Alış	-64,218 kWh	-196,552 ₺
Şubat	80,691 kWh	0 ₺	125,000 kWh	99,182 ₺	Alış	-44,309 kWh	-135,617 ₺
Mart	122,740 kWh	0 ₺	125,000 kWh	74,549 ₺	Alış	-2,260 kWh	-6,917 ₺
Nisan	151,608 kWh	9,827 ₺	125,000 kWh	73,225 ₺	Satış	26,608 kWh	81,439 ₺
Mayıs	174,947 kWh	18,447 ₺	125,000 kWh	73,225 ₺	Satış	49,947 kWh	152,873 ₺
Haziran	184,450 kWh	21,956 ₺	125,000 kWh	73,225 ₺	Satış	59,450 kWh	181,957 ₺
Temmuz	208,293 kWh	30,762 ₺	125,000 kWh	73,225 ₺	Satış	83,293 kWh	254,933 ₺
Ağustos	192,870 kWh	25,066 ₺	125,000 kWh	73,225 ₺	Satış	67,870 kWh	207,727 ₺
Eylül	159,445 kWh	12,721 ₺	125,000 kWh	73,225 ₺	Satış	34,445 kWh	105,424 ₺
Ekim	120,385 kWh	0 ₺	125,000 kWh	75,929 ₺	Alış	-4,615 kWh	-14,124 ₺
Kasım	87,897 kWh	0 ₺	125,000 kWh	94,960 ₺	Alış	-37,103 kWh	-113,560 ₺
Aralık	61,913 kWh	0 ₺	125,000 kWh	110,182 ₺	Alış	-63,088 kWh	-193,091 ₺
TOPLAM	1,606,019 kWh	118,778 ₺	1,500,000 kWh	1,004,999 ₺	Toplam Satış	321,612 kWh	984,353 ₺
					Toplam Alış	-215,592 kWh	-659,861 ₺
					TOPLAM	Gelir(+)/Gider(-)	324,492 ₺
ÖDENECEK TOPLAM DAĞITIM BEDELİ		1,123,777 ₺		YILLIK FAYDA		YATIRIM BEDELİ	
ENERJİ SATIŞ GELİR(+)/GİDER(-)		324,492 ₺					
YATIRIM SONRASI (GELİR-GİDER)		-799,285 ₺					
ESKİ ELEKTRİK GİDERİ		6,348,438 ₺					
NET KAR / FAYDA (YILLIK)		5,549,153 ₺		\$158,547		\$450,000	

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma için karşılaştırma tablosu Çizelge 4’te verilmiştir. Yapılan hesaplamalara vergiler dahil edilmemiştir. Çatı tipi güneş enerji santrali kurmak hem kurulum maliyeti açısından hem de işletme giderleri açısından daha uygundur. Ancak yüksek elektrik tüketimine sahip işletmelerin çatılarında yeterli alan bulunmadığı için arazi tipi güneş enerji santrallerine yönelmektedirler.

Arazi tipi güneş enerji santrallerinin yatırım maliyeti daha yüksektir. Bu maliyet farklılığı araziye kurulacak olan konstrüksiyon, trafo ve orta gerilim hücreleri gibi çeşitli ekipmanlardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca işletme giderleri de çatı tipi güneş enerji santrallerine oranla oldukça yüksektir, işletme giderlerinin temel faktörlerinden biri dağıtım bedellerinden kaynaklanmaktadır. Arazi tipi güneş enerji santralleri çatı tipi güneş enerji santrallerine göre dezavantajlı olsa da yüksek elektrik tüketimine sahip ve çatısında yeterli alanı bulunmayan işletmeler için tek alternatif durumundadır.

Çizelge 4-Karşılaştırma tablosu

	ÇATI TİP GES	ARAZİ TİPİ GES
1 MWp yıllık üretim değeri	1.606.019 kWh	1.708.652 kWh
Ödenecek yıllık dağıtım bedeli	1,123,777 TL	2,388,452 TL
Enerji satışından sağlanan gelir	324.492 TL	638.618 TL
Yatırım bedeli	\$450,000.00	\$550,000.00
Yıllık fayda	\$158,547.00	\$131,389.00

KAYNAKÇA

1. EPDK Elektrik Piyasası Sektör Raporu-Eylül 2024
<https://www.epdk.gov.tr/detay/icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar>
2. <https://pvgis.com/>

THE CURRENT VOLTAGE CHARACTERISTICS OF Au/CdTe SCHOTTKY DIODES AT HIGH TEMPERATURES

Prof. Dr. Hatice KANBUR ÇAVUŞ

Yozgat Bozok University and Bozok Teknopark, Hadid Enerji, Yozgat-Türkiye.

Email: hatice.kanbur@bozok.edu.tr ORCID: 0000-0001-8525-0313

ABSTRACT

Cadmium telluride (CdTe) is a crucial semiconductor widely used in technologies such as solar cells, radiation detectors, and diodes due to its high optical absorption coefficient and direct band gap in the visible light spectrum. In this study, the current-voltage (I-V) characteristics of Au/CdTe Schottky barrier diodes were investigated over a temperature range of 300-380 K. The temperature dependence of key diode parameters, including barrier height and ideality factor, was analyzed using thermionic emission (TE) theory. Additionally, the series resistance (R_s) of the diodes was extracted from forward bias I-V characteristics using Cheung's method. Also, it is shown that the values of series resistance estimated from Cheung's method were strongly temperature dependent and decreased with increasing temperature.

Keywords: Au/CdTe; Schottky diode, series resistance, Cheung's method.

1. Introduction

Many researchers have recently chosen CdTe for use in device applications such as semiconductor solar cells, radiation detectors, and diodes. Its high optical absorption coefficient and direct bandgap within the visible light spectrum have been key factors influencing their decision [1-8]. Various methods have been reported in the literature for preparing CdTe thin films, including sputtering, spray pyrolysis, metal-organic chemical vapor deposition, and thermal evaporation [9-15]. Among these, the thermal evaporation technique offers significant advantages, such as high deposition rates and lower costs. This method creates a strong vacuum, enabling the fabrication of very high-purity thin films. Recent studies have examined the structural and optical properties of CdTe thin films prepared by thermal evaporation [16-23].

2. Experiment

CdTe was deposited on monocrystalline CdTe (111) substrates using the thermal evaporation technique under a vacuum of approximately 2×10^{-5} Torr. Prior to deposition, CdTe wafers were cleaned using a standard cleaning procedure and subsequently quenched in deionized water with a resistivity of 18 M Ω . After surface preparation, high-purity gold (Au) metal (99.999%) with a thickness of 1000 Å was thermally evaporated in a vacuum system at a pressure of $\sim 10^{-6}$ Torr. Low-resistance ohmic contacts were formed by thermal annealing at 400 °C for 5 minutes in flowing N₂ gas. Following the formation of ohmic contacts, circular Au rectifying contacts with a diameter of 1 mm and a thickness of 1100 Å were deposited onto the CdTe surface. Hall Effect measurements confirmed that the films were n-type. The I-V characteristics of the Au/n-CdTe diode were analyzed using the Keithley 4200 UCF Semiconductor Parameter Analyzer.



Fig. 1. Au/n-type CdTe Schottky diode

3. Results and Discussion

The Schottky contact can be described by well-known thermionic emission theory [17] and the I - V relationship of Schottky diode is given by

$$I = I_o \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{qV}{kT}\right) \right] \quad (1)$$

where I_o is the reverse saturation current obtained by extrapolating the linear intermediate voltage region of the curve to zero applied voltage and is given by

$$I_o = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{B0}}{kT}\right) \quad (2)$$

where the quantities A , A^* , T , q , k and Φ_{B0} are the diode area, the effective Richardson constant of $12 \text{ A K}^{-2} \text{ cm}^{-2}$ for n-type CdTe [6], temperature in K, the electronic charge, Boltzmann constant and the zero bias barrier height, respectively. The ideality factor in Eq. (1) is the ideality factor and the slope of the I - V curve in Fig. 1 also gives the ideality factor of the contact, defined by [18]

$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{dV}{d(\ln I)} \right) \quad (3)$$

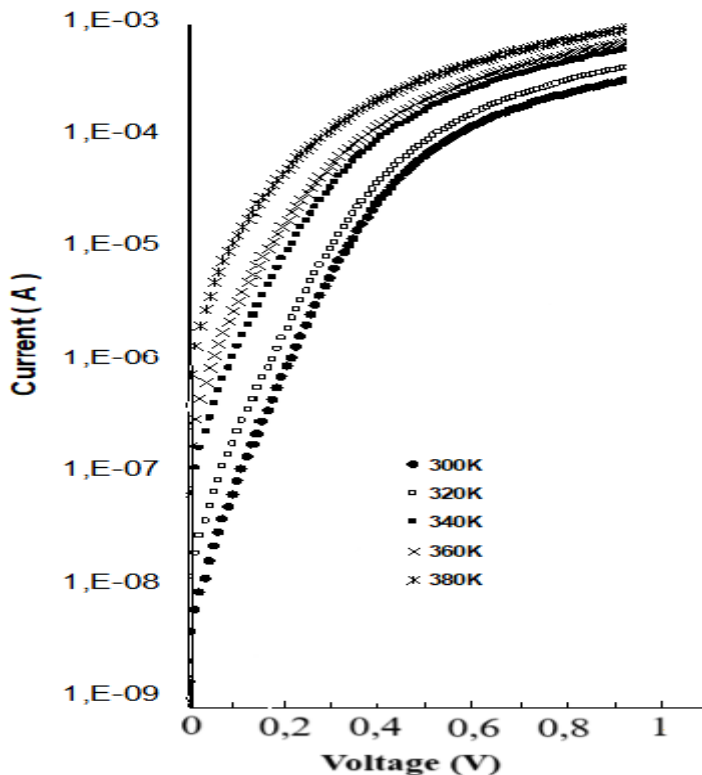


Fig. 2. The forward bias current-voltage (I - V) characteristics of the Au/CdTe Schottky diode at high temperatures.

Fig. 2 shows the semilog I - V characteristics of the Au/CdTe Schottky diodes at different temperatures. These I - V plots shift towards the higher bias side with decrease in temperature. The experimental values of Φ_{BO} and n were determined from intercept and slopes of the forward-bias $\ln I$ versus V plot at each temperature, respectively. The experimental results show that the Φ_{BO} and n were found to be a strong function of temperature (Fig. 3).

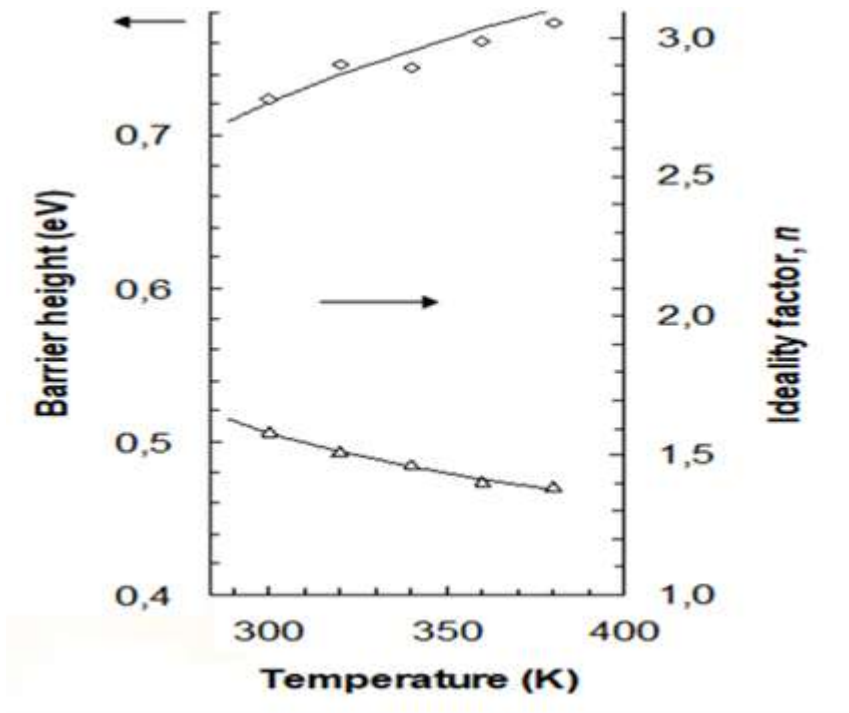


Fig. 3. The temperature dependent of barrier height (open diamond) and ideality factor (open triangle) for Au/CdTe Schottky barrier diode obtained from the forward bias I-V data.

The temperature dependence and the impact of series resistance on the electrical properties of the Au/CdTe Schottky diode were analyzed within the temperature range of 300–380 K. Series resistance plays a crucial role in determining the characteristics of Schottky diodes. It represents the combined resistance from all resistive elements in series, along with the intrinsic resistance within the semiconductor material along the current flow path. The voltage V_D across the Schottky diode can be described as the total voltage drop V across the series combination of the diode and the series resistance. Thus $V_D = V - IR_s$ and for $V_D > 3kT/q$ Eq. 1 becomes

$$I = I_o \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{q(V - IR_s)}{kT}\right) \right] \quad (4)$$

As depicted in Fig. 2, the current–voltage (I – V) characteristics of the Au/CdTe Schottky diodes exhibit rectifying behavior in the intermediate bias region. However, at higher bias levels, the I – V curve deviates significantly from linearity due to the influence of series resistance. Consequently, the series resistance values were determined from the forward bias I – V data using the methods proposed by Cheung [19]. Based on Eq. 4, the following functions can be derived:

$$\frac{dV}{d \ln(I)} = IR_s + \left(\frac{nkT}{q} \right) \quad (5)$$

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q} \right) \ln \left(\frac{I}{AA * T^2} \right) = IR_s + n\Phi_B \quad (6)$$

In Fig. 4 (a) and (b), experimental $dV/d(\ln I)$ versus I and $H(I)$ versus I plots are presented at different temperatures for Au/CdTe Schottky diode, respectively. Eq. (5) should give straight line for the data of downward curvature region in the forward bias I – V characteristics. Thus, a plot of $dV/d(\ln I)$ versus I will give R_s as the slope and $n(kT/q)$ as the y-axis intercept.

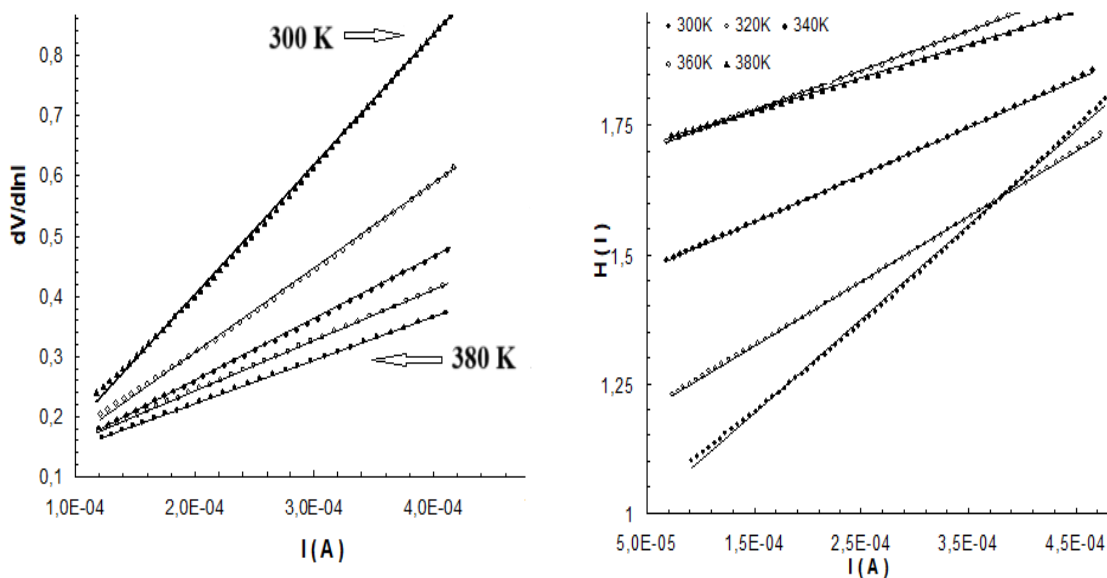


Fig. 4. The characteristics of the Au/CdTe (a) $dV/d(\ln I)$ vs I and (b) $H(I)$ vs I .

Using the n value determined from Eq. (5), a plots of $H(I)$ versus I will also give a straight line (as shown in Fig. 4(b)) with y-axis intercept equal to $n\Phi_B$. The slope of these plots also provides

a second determination of R_s , which can be used to check the consistency of this approach. Thus, for each temperature and by performing different plots (Eqs. 5 and 6) of the I - V data, a main diode parameter (R_s) is obtained and presented in Fig. 5. As shown Fig. 5, the obtained series resistance values by different techniques are in good agreement.

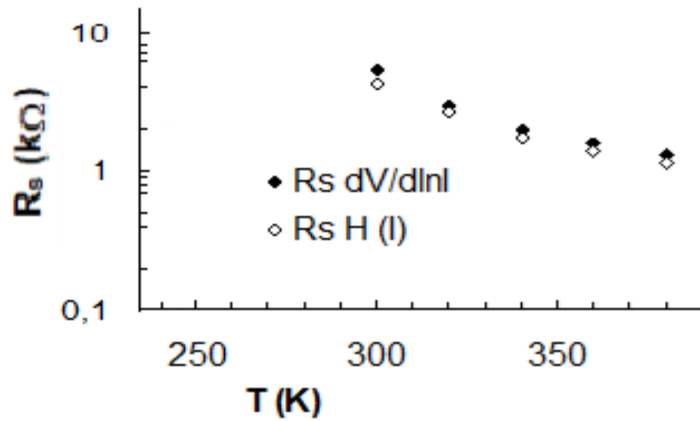


Fig. 5. The temperature dependence of the R_s for the studied Au/CdTe Schottky diode.

The analysis of physical parameters of Schottky barrier diodes is generally based on thermionic emission (TE) theory. However, in the I - V characteristic analyses based on TE theory, an unusual decrease in the barrier height and an abnormal increase in the ideality factor are observed as the temperature decreases [24,25]. This behavior deviates from the predictions of TE theory and is thought to be due to the inhomogeneous barrier structure in which the barrier heights are spatially distributed irregularly. We normally assume that the barrier in metal-semiconductor contacts is a flat barrier as an ideal. However, in reality, the barrier between the contacts is not a completely homogeneous barrier. Therefore, carriers that do not have sufficient thermal energy from low barriers conduct and TE deviations occur. In non-homogeneous Schottky diodes, the spatial distribution of the barrier height is basically described by Gaussian distribution functions [26].

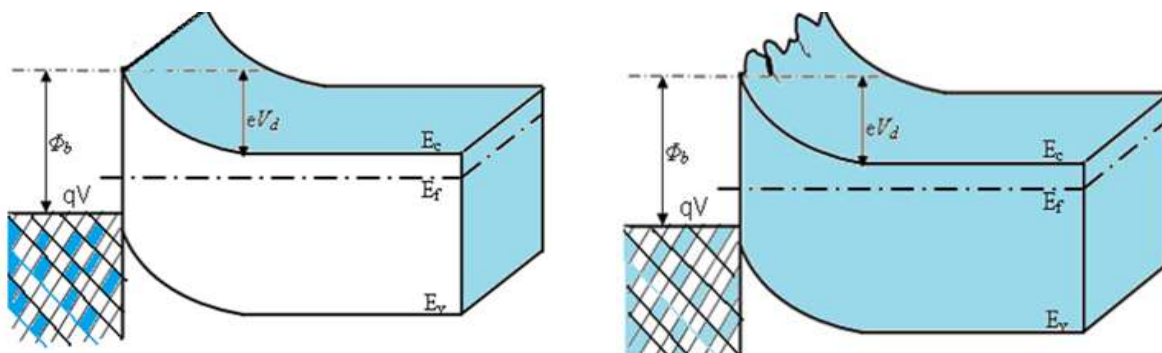


Fig. 6. Two-dimensional barrier height of a homogeneous and inhomogeneous contact

4. Conclusions

Current–voltage (I – V) characteristics of Au/CdTe Schottk barrier diodes have been investigated in the temperature range of 300–380K. The experimental forward bias I – V analysis based on the TE theory has revealed that the zero-bias barrier height Φ decreases and the ideality factor n increases as the temperature decreases, respectively. These behaviors are attributed to Schottky barrier inhomogeneities by assuming a Gaussian distribution of barrier heights (BHs) due to BH inhomogeneities that prevail at interface.

REFERENCES

- [1] A. Gukasyan, A. Kvit, and Y. Klevkov, “High-resolution PL characterization of impurity segregation and their complex formation on extended defects in CdTe,” *Solid State Com.*, vol. 97, no. 10, pp. 897–902, March 1996, doi:10.1016/0038-1098(95)00417-3.
- [2] S. Lalitha, S. Zh. Karazhanov, P. Ravindran, and S. Senthilarasu, "Electronic structure, structural and optical properties of thermally evaporated CdTe thin films," *Physica B*, vol. 387, no.1–2, pp. 227–238, January 2007, doi:10.1016/j.physb.2006.04.008.
- [3] A. Castaldini, A. Cavallini, B. Fraboni, L. Polenta, P. Fernandez, and J. Piqueras, “Compensation and deep levels in II–VI compounds,” *Mater. Sci. Eng. B*, vol. 42, no.1–3, pp. 302–305, December 1996, doi:10.1016/S0921-5107(96)01726-6.
- [4] X. Yi, O. Lin, X. Zhao, and K. Wong,” The effect of surface preparation on properties of cadmium telluride thin film heterojunctions,” *J. Phys. D Appl. Phys.*, vol. 23, no. 7, pp. 912, 1990, doi:10.1088/0022-3727/23/7/025.
- [5] K. Guergouri, M. S. Ferah, R. Triboulet, and Y. Marfaing, “Study of the crystalline quality of CdTe, CdZnTe and CdMnTe substrates used for liquid phase epitaxy of Cd_{0.7}Hg_{0.3}Te,” *J. Cryst. Growth*, vol. 139, no. 1-2, pp. 6–14, May 1994, doi:10.1016/0022-0248(94)90022-1.
- [6] A. Romeo, G. Khrypunov, S. Galassini, H. Zogg, and A. N. Tiwari, “Bifacial configurations for CdTe solar cells,” *Solar Energy Mater. Solar Cells*, vol. 91, no. 15–16, pp. 1388–1391, September 2007, doi:10.1016/j.solmat.2007.03.010.
- [7] Ziaul Razakhan, M. Zulfequar and M. Shahid Khan, "Structural, optical, photoluminescence, dielectric and electrical studies of vacuum-evaporated CdTe thin

- films," *Bull. Mater. Sci.*, vol. 35, no. 2, pp. 169–174, April 2012, doi:10.1007/s12034-012-0274-x.
- [8] H. Kanbur, Ş. Altındal, T. Mammadov, and Y. Şafak, "Effects of illumination on I-V, C-V and G/w-V characteristics of Au/n-CdTe Schottky barrier diodes," *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, vol. 13, no. 6, pp. 713–718, June 2011.
- [9] M. S. Han, T. W. Kang, J. H. Leem, M. H. Lee, K. J. Kim, and T. W. Kim, "Strain effects in CdTe/Si heterostructures," *J. Appl. Phys.*, vol. 82, no. pp. 6012, June 1998, doi:10.1063/1.366467.
- [10] S. Surabhi, K. Anurag, and S. R. Kumar, "Effect of annealing on the structural, compositional and optical properties of CdTe films," vol. 45, no. 6, pp. 4477–4482, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.988.
- [11] H. Tatsuoka, H. Kuwabara, Y. Nakanishi, and H. Fujiyasu, "CdTe(111) growth on misoriented Si(100) substrates by hot-wall epitaxy," *J. Cryst. Growth*, vol. 129, no. 3–4, pp. 686–690, April 1993, doi:10.1016/0022-0248(93)90504-P.
- [12] H. Hernández-Contreras, G. Contreras-Puente, J. Aguilar-Hernández, A. Morales-Acevedo, J. Vidal-Larramendi, and O. Vigil-Galán, "CdS and CdTe large area thin films processed by radio-frequency planar-magnetron sputtering," *Thin Solid Films*, vol. 403, no. 404, pp.148–152, February 2002, doi: 10.1016/S0040-6090(01)01523-1.
- [13] A. U. Ubale, R. J. Dhokne, P. S. Chikhlikar, V. S. Sangawar, and D. K. Kulkarni, "Characterization of nanocrystalline cadmium telluride thin films grown by successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method," *Bull Mater Sci.*, vol. 29, pp.165–168, April 2006, doi:10.1007/BF02704610.
- H. Nishino and Y. Nishijima, "CdTe(111)B/Si(100) structure grown by metalorganic vapor phase epitaxy with Te adsorption and annealing," *J. Cryst. Growth*, vol. 167, no. 3–4, pp. 488–494, October 1996, doi:10.1016/0022-0248(96)00288-6.
- S. Deivanayaki, P. Jayamurugan, R. Mariappan, and V. Ponnuswamy, "Optical and structural characterization of CdTe thin films by chemical bath deposition technique," *Chalcogenide Lett.*, vol. 7, no.3, pp. 159–163, March 2010.
- N. A. Khan, K. S. Rahman, K. A. Aris, A. M. Ali, Halina Misran, M. Akhtaruzzaman, S. K. Tiong and N. Amin, "Effect of laser annealing on thermally evaporated CdTe thin films for photovoltaic absorber application," *Sol. Energy*, vol. 173, pp. 1051–1057, October 2018, doi:10.1016/j.solener.2018.08.023.

- S. Singh, R. Kumar, and K.N. Sood, “Structural and electrical studies of thermally evaporated nanostructured CdTe thin films,” *Thin Solid Films*, vol. 519, no. 3, pp. 1078–1081, November 2010, doi:10.1016/j.tsf.2010.08.047.
- J. M. Kestner, S. McElvain, S. Kelly, T. R. Ohno, L.M. Woods, and C. A. Wolden, “An experimental and modeling analysis of vapor transport deposition of cadmium telluride” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 83, no.1, pp. 55–65, June 2004, doi: 10.1016/j.solmat.2004.02.013.
- B. Barış, “Frequency dependent dielectric properties in Schottky diodes based on rubrene organic semiconductor,” *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, vol. 54, pp. 171–176, December 2013, doi:10.1016/j.physe.2013.06.018.
- D. K. Dhruv, S. D. Dhruv, N. Agrawal, and P. B. Patel, “Fabrication and transport properties of thermally evaporated cadmium selenide thin films for photovoltaic applications,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 55, no. 1, pp. 67–72, 2022, doi:10.1016/j.matpr.2021.12.173.
- S. S. Shaikh, Mohd Shkir, and E. U. Masumdar, “Exploration of the spray deposited Cadmium Telluride thin films for optoelectronic devices,” *Physica B: Condensed Matter*, vol. 580, pp. 411831, March 2020, doi:10.1016/j.physb.2019.411831.
- S. M. Sze, *Physics of Semiconductor Devices*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1981.
- E. H. Rhoderick and R. H. Williams, *Metal–Semiconductor Contacts*, 2nd ed., Clarendon Press, Oxford, 1988.
- Chand, S., Kumar, J., “Evidence for the double distribution of barrier heights in Pd₂Si/n- Si Schottky diodes from I - V - T measurements”, *Semicond. Sci. Technol.*, 11: 1203 (1996).
- Chand, S., Kumar, J., “Electron transport and barrier inhomogeneities in palladium silicide Schottky diodes”, *Appl. Phys. A.*, 65: 497 (1997).
- Chand, S., “On the intersecting behaviour of current-voltage characteristics of inhomogeneous Schottky diodes at low temperatures”, *Semicond. Sci. Technol.*, 19: 82-86 (2003).

COMPARISON OF PSO AND GA PERFORMANCES TO DETERMINE OPTIMUM PID CONTROL PARAMETERS

Assist. Prof. Dr. Hüseyin DOĞAN

Selçuk University / Faculty of Technology/ Department of Mechatronics Engineering

huseyindogan@selcuk.edu.tr - 0000-0002-9609-7825

ABSTRACT

PID (Proportional-Integral-Derivative) control is the most known and popular feedback based closed loop control method. It continually compares a measured process variable with its desired reference value and tries to minimize the difference between these two values (error) by changing the control input. Despite its simple structure, PID control has robust and stable performance in many industrial applications in a wide range of operating conditions. Of course, PID control has some disadvantages and different alternatives such as Fuzzy Logic Control and Sliding Mode Control have been proposed. However, the usage of these methods has been limited to academic studies. Today, PID control maintains its popularity and is still the most preferred control method in industry. To obtain desired results, PID coefficients should be well adjusted. To determine the best optimal parameters different methods are suggested in literature. Manually adjusting PID parameters is the most basic but most time-consuming method because it depends on the user's knowledge and requires a long trial-and-error process. Also rule-based methods such as Ziegler-Nichols and Cohen-Coon can be used but they cannot handle unstable and complex systems. As with many engineering optimization problems, using evolutionary optimization algorithms can also be an alternative way to tune PID parameters. In this paper, well-known major population-based evolutionary algorithms -Genetic Algorithm (GA)- and -Particle Swarm Optimization (PSO)- are used to determine best optimal values of PID parameters for a DC motor. Simulations are performed in MATLAB and performances of two algorithms are compared under different load conditions in terms of overshoot, steady-state error and settling time.

Keywords: GA, PSO, Optimization, Algorithm, PID, Control

1. INTRODUCTION

Despite the fact that DC motors have a brushed type of structure and because of this they need more frequent maintenance (more cost) when compared to induction motors, they are still preferred in some applications. Their easy and stable speed control characteristics make them attractive for the engineers working in the robotics and automation systems area, where precise motion control is a critical issue [1].

To take advantage of these features a robust controller is needed for DC motors. Controller should provide an excellent steady state and transient response even under changing load conditions. For this purpose, several control techniques are suggested in literature. Among them PID (Proportional-Integral-Derivative) control is the most known and popular feedback based closed loop control method [2]. It continually compares a measured process variable with its desired reference value and tries to minimize the difference between these two values (error) by changing the control input [3]. Despite its simple structure, PID control has robust and stable performance in many industrial applications in a wide range of operating conditions [4].

To obtain desired results, PID coefficients should be well adjusted. To determine the best optimal parameters different methods are proposed [5], [6]. Manually adjusting PID parameters is the most basic but most time-consuming method because it depends on the user's knowledge and requires a long trial-and-error process. Also rule-based methods such as Ziegler-Nichols and Cohen-Coon can be used but they cannot handle unstable and complex systems. As with many engineering optimization problems, using evolutionary optimization algorithms can also be an alternative way to tune PID parameters.

In this paper, well-known major population-based evolutionary algorithms - Genetic Algorithm (GA) - and - Particle Swarm Optimization (PSO) - are used to determine best optimal values of PID parameters for a DC motor. Simulations are performed in MATLAB and performances of two algorithms are compared under different load conditions in terms of overshoot, steady-state error and settling time.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Model of DC Motor Control System

Basic image of the DC motor used in this paper is shown in Figure 1 [7], explanation of the motor parameters is given in Table 1 and mathematical model of the electrical and mechanical relationships of the motor in Laplace domain are given in the following equations,

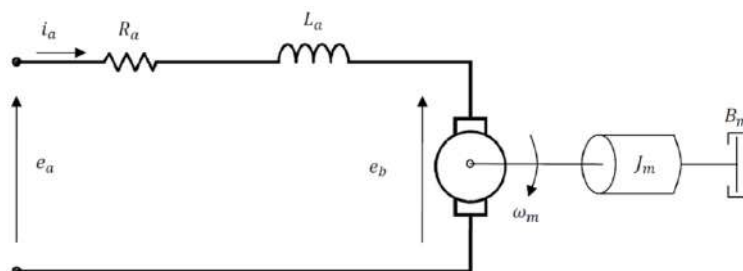


Figure 1. Basic image of the DC motor

Table 1. Explanation of the DC motor parameters

ω_m	Motor angular speed
e_a	Motor input voltage
e_b	Motor back emf
I_a	Motor input current
T_m	Motor torque
J_m	Moment of inertia
R_a	Armature resistance
L_a	Armature inductance
B_m	Viscous friction constant
K_e	Motor emf constant
K_t	Motor torque constant

$$e_a(s) = R_a I_a(s) + sL_a I_a(s) + e_b(s) \quad (1)$$

$$e_b(s) = K_e \omega_m(s) \quad (2)$$

$$T_m(s) = sJ_m \omega_m(s) + B_m \omega_m(s) \quad (3)$$

$$T_m(s) = K_t I_a(s) \quad (4)$$

If we rearrange the equations to obtain angular speed and armature current as given below,

$$I_a(s) = \frac{e_a(s) - e_b(s)}{sL_a + R_a} \quad (5)$$

$$\omega_m(s) = \frac{T_m(s)}{sJ_m + B_m} \quad (6)$$

By using above equations DC motor block diagram can be obtained as in Figure 2,

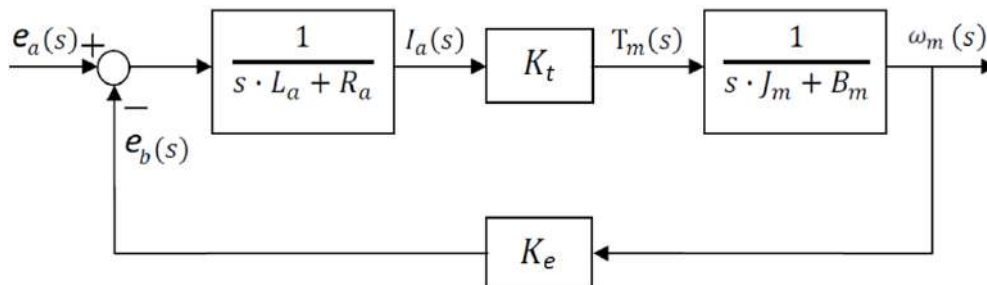


Figure 2. DC motor block diagram

After rearranging the equations again and making some assumptions transfer function of the DC motor and PID controller can be obtained as in following equations respectively,

$$G_m(s) = \frac{\omega_m(s)}{e_a(s)} = \frac{K_m}{sJ_m R_a + B_m R_a + K_m^2} \quad (K_m = K_t = K_e, R_a \gg L_a) \quad (7)$$

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (8)$$

DC motor closed loop PID control system is created by the given MATLAB codes in Figure 3 and block diagram of complete system is given in Figure 4.

```
s = tf('s');
Gm = Km/(s*Jm*Ra+Bm*Ra+Km^2);
Gc = pid(Kp,Ki,Kd);
sys = feedback(Gm*Gc,1);
```

Figure 3. MATLAB codes to obtain closed loop PID control system

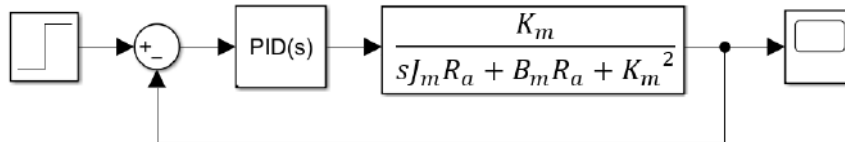


Figure 4. DC motor closed loop PID control system

2.2. Optimization of PID Control Parameters

In this paper, evolutionary algorithms GA and PSO are used to determine best optimal values of PID parameters for a DC motor control system. In order to minimize the optimization time and get better results, search range of each parameter is limited according to past experience as shown in Table 2,

Table 2. PID parameters that will be optimized and their limit values

KP	KI	KD
0,0 -5,0	0,0 – 50,0	0,0 – 1,0

GA and PSO are both population-based algorithms, but different coding principles are adopted for each as shown in Figure 5. Each group of variables (3 pieces) that are possible optimal values of fuzzy parameters is called **INDIVIDUAL (CHROMOSOME)** in GA and **PARTICLE (POSITION)** in PSO. A certain number of individuals/particles form **POPULATION** in GA and **SWARM** in PSO. And finally, every parameter of the chromosome/position is called **GENE** in GA and **COORDINATE** in PSO.

Both algorithms are carried out by MATLAB commands in an M-File. ITAE (**I**ntegral of **T**ime-weighted **A**bsolute **E**rror) is used to evaluate individuals/particles whether they are close to the optimal solution or not. For this purpose, at the beginning of the algorithms (initialization stage) or during iterations, generated/updated individuals/particles are loaded to the model of DC motor with PID control and ITAE is calculated as shown in Figure 6. Calculated value is considered as fitness score. If this value is high, fitness score of corresponding individual/particle is low which means this individual/particle is far away to be an optimal

solution. On contrary, if it is low, fitness score of corresponding individual/particle is high which means this individual/particle is close to be an optimal solution.

GA	PSO
$X_i = X_{i,1}, X_{i,2}, X_{i,3}$	$X_i = X_{i,1}, X_{i,2}, X_{i,3}$
Each group of variables that are possible optimal values of PID parameters is called INDIVIDUAL (CHROMOSOME)	Each group of variables that are possible optimal values of PID parameters is called PARTICLE (POSITION VECTOR)
X_1, X_2, \dots, X_p	X_1, X_2, \dots, X_p
A certain number of individuals form POPULATION	A certain number of particles form SWARM
$X_{i,j}$	$X_{i,j}$
Every member of chromosome is called GENE	Every member of position vector is called COORDINATE
$X_{i,j} = j\text{-th variable of } i\text{-th particle/individual}$	

Figure 5. Different coding principles in GA and PSO

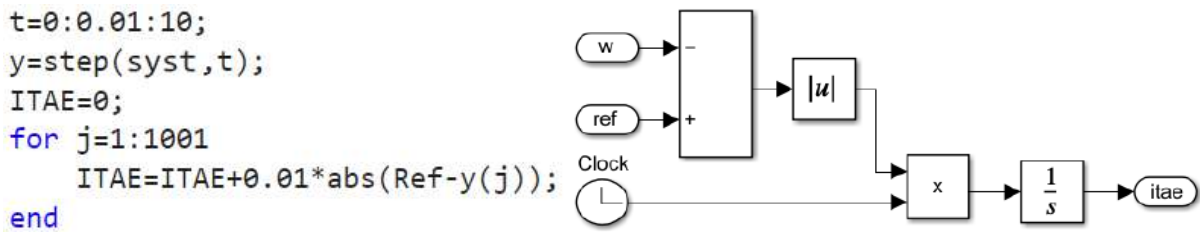


Figure 6. ITAE calculation in M-File and in Simulink

Initialization process is same for both algorithms. They begin with production of random initial population/swarm that consists of “p” number of individuals/particles and calculation of first fitness scores (ITAE) as described above. Each individual/particle consists of 3 variables that are candidate of optimum values of corresponding PID parameters as given in Figure 7.

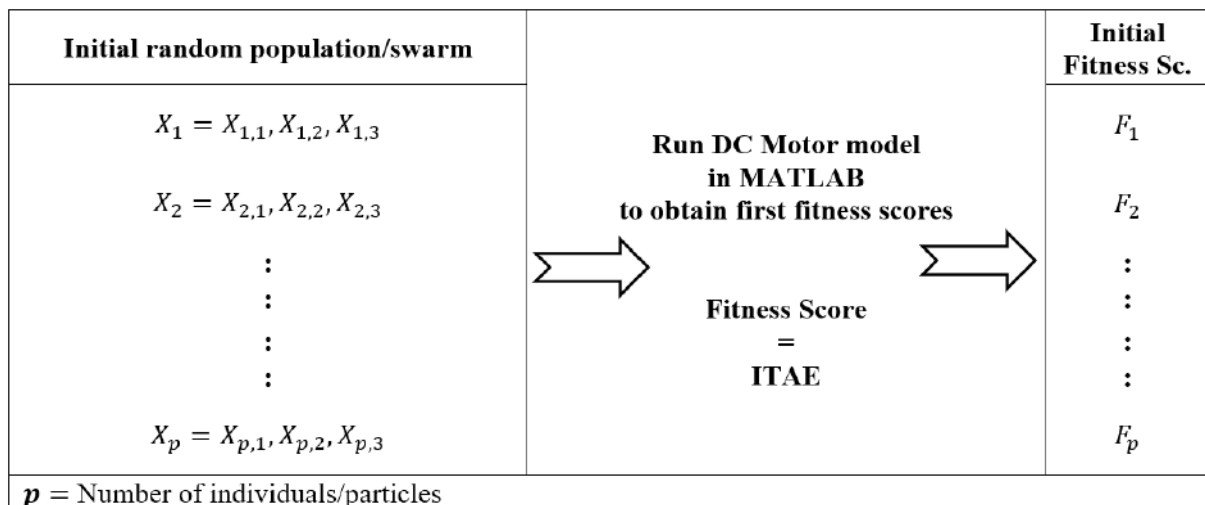


Figure 7. Initialization process of algorithms

2.2.1. Execution of the Genetic Algorithm

After generation of random initial population and calculation of first fitness scores, genetic algorithm iterations begin. The first step of iteration is the selection stage as given in Figure 8. 2 individuals are selected randomly from the current population for the tournament. An individual which has a higher fitness score (lower ITAE) wins the tournament and is selected to be transferred to the next population. This procedure continues until population consisting of “p” number of individuals is produced. r_1 and r_2 are produced during iteration and used to select individuals randomly.

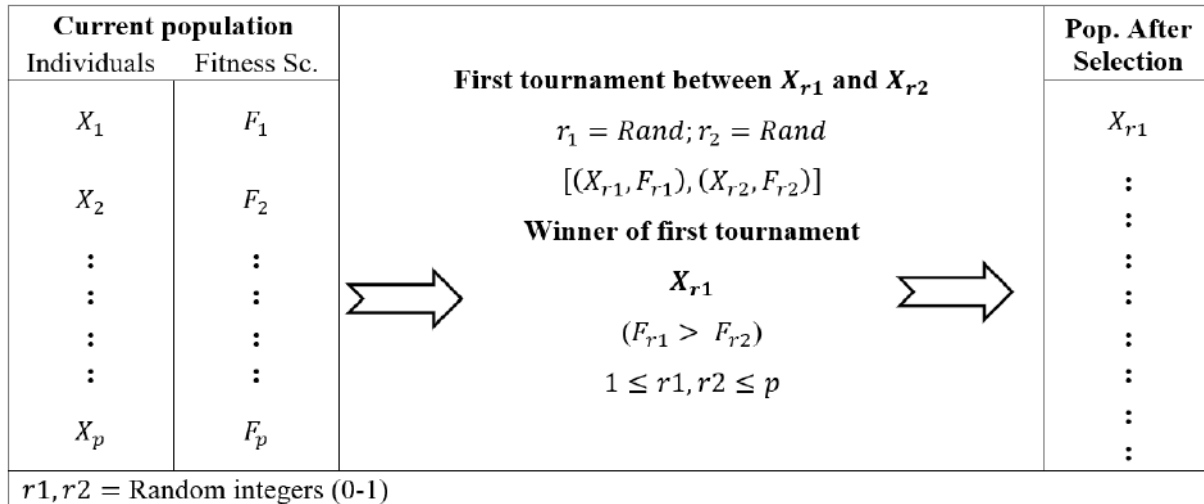


Figure 8. GA selection stage (First step of iteration)

For Crossover stage given in Figure 9, 2 sequential individuals are selected from current population, starting from first order (X_1 and X_2) to last (X_{p-1} and X_p). C_R is the crossover probability rate (0-1) and determined at the beginning of algorithm, C_X is a random number (0-1) produced during iteration and stands for chance of crossover operation, C_C is a random number (0-1) produced during iteration and used in crossover operation.

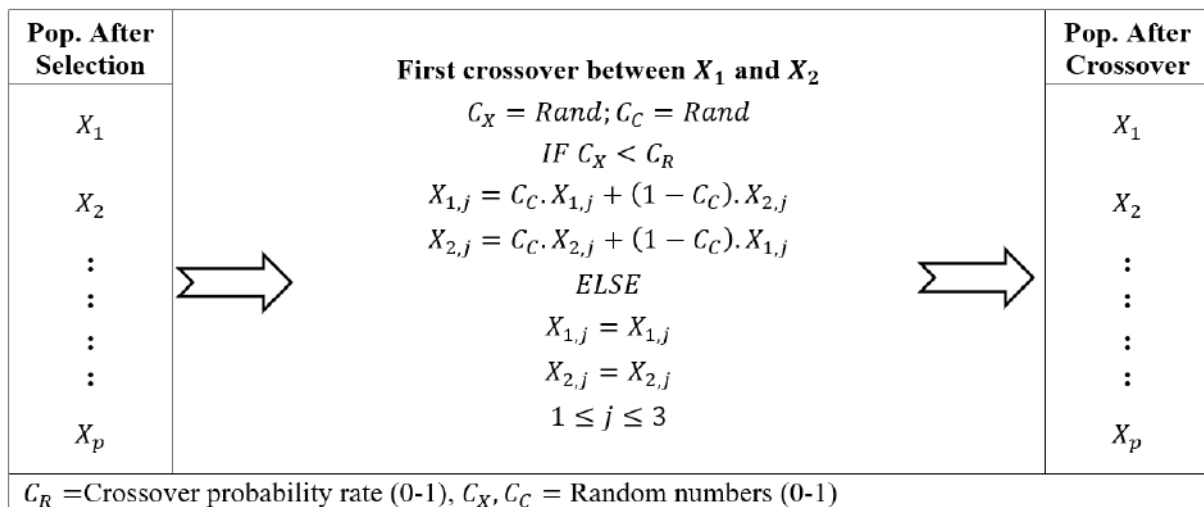


Figure 9. GA crossover stage

For Mutation stage given in Figure 10, a random population with the same dimension as current population is generated. Every parameter (gene) of current individuals is changed or not, according to M_R and M_X , by the parameter of corresponding new individual. This operation is repeated for all individuals in the current population, starting from first (X_1) to last (X_p). M_R is the mutation probability rate (0-1) and determined at the beginning of algorithm, M_X is a random number (0-1) produced during iteration and stands for chance of mutation operation.

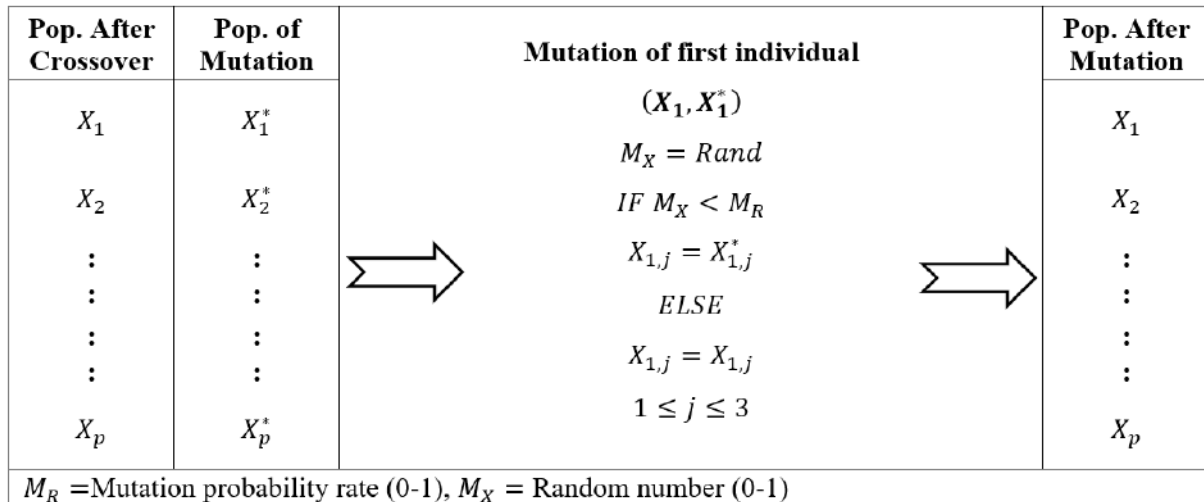


Figure 10. GA mutation stage

After mutation operation, individuals of last population are loaded into the DC motor control system model and system is executed again to obtain new fitness scores as shown in Figure 11. This is also last stage of genetic algorithm in each iteration. Individual which has the highest fitness score at the current iteration cycle is stored to be evaluated at the end of whole optimization process.

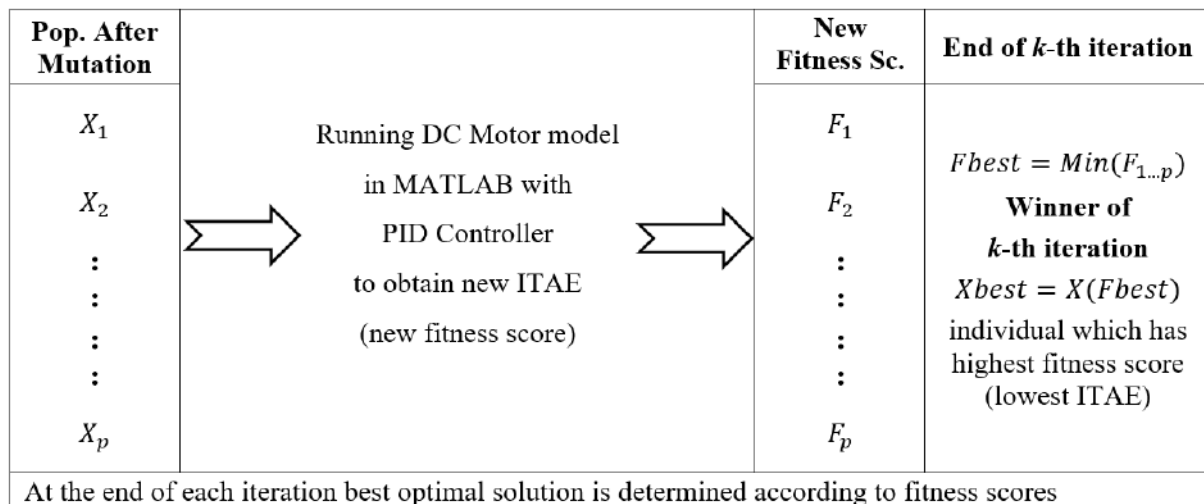


Figure 11. GA end of each iteration

Selection, crossover, mutation and new fitness scores obtaining stages are repeated until iteration number reaches a predetermined value. At the end of whole optimization process, the variables of the individual which has the highest fitness score are the optimal values of PID parameters determined by GA as shown in Figure 12.

End of Iterations			After Whole Optimization Process
Best Indiv.	Best Fi. Sc.		
$Xbest_1$	$Fbest_1$	➔	$Gbest = Min(Fbest_{1..t})$
$Xbest_2$	$Fbest_2$		Winner
:	:		$XGbest = X(Gbest)$
:	:		$XGbest(1)$: Optimum K_P value
:	:		$XGbest(2)$: Optimum K_I value
$Xbest_t$	$Fbest_t$		$XGbest(3)$: Optimum K_D value
$t =$ Iteration number			

Figure 12. GA end of whole optimization process

2.2.2. Execution of the Particle Swarm Optimization

After generation of initial swarm and calculation of fitness scores, PSO algorithm needs some additional initialization processes before iterations begin as shown in Figure 13. They are initial assignments of **Velocity**, **Pbest** and **Gbest**. **Pbest** is the position of the particle which achieves personal highest fitness score, **Gbest** is the best of the **Pbests** and **Velocity** refers to the amount of change in parameters of particles while trying to come close to the **Gbest**.

Initial random swarm		Initial assignments		
Particles	Fitness Sc.	Pbest assignment	Velocity assignment	Gbest assignment
X_1	F_1	$Pbest_1 = X_1$	$V_1 = 0$	$Gbest = Min(Pbest)$ Particle which has highest fitness score (lowest ITAE)
X_2	F_2	$Pbest_2 = X_2$	$V_2 = 0$	
:	:	:	:	
:	:	:	:	
:	:	:	:	
X_p	F_p	$Pbest_p = X_p$	$V_p = 0$	
$p =$ Number of particles in the swarm				

Figure 13. PSO initial assignments of Pbest, Velocity and Gbest

First stage of PSO iterations is updating velocities and positions of particles. Velocity of each particle is updated according to its previous velocity, current position (X_i), personal best position (**Pbest_i**) and position of best particle (**Gbest**) as shown in Figure 14.

Second stage of PSO iterations is updating positions of particles. Updated velocity is added to current position to obtain new position as shown in Figure 15. Aim is to bring the corresponding particle closer to the best one while preserving its personal experience.

After position update of each particle, DC Motor model in MATLAB is run again with these new parameters to obtain new fitness scores. These fitness scores are used to update **Pbest** and **Gbest** as shown in Figure 16. This is the last stage of PSO algorithm in each iteration.

Current Velocities	Updating velocities	Updated Velocities
V_1	$V_{i,j} = w_k \cdot V_{i,j} + C_1 \cdot R_1 \cdot (Pbest_{i,j} - X_{i,j}) + C_2 \cdot R_2 \cdot (Gbest_j - X_{i,j})$ $1 \leq i \leq p, 1 \leq j \leq 3$ $w_k = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{k_{max}} \times k$ $w_{max} = 0,9 \quad w_{min} = 0,4$ $k = \text{Iteration number } (1 \leq k \leq k_{max})$	V_1
V_2		V_2
:		:
:		:
:		:
V_p		V_p

$C_1, C_2 =$ Acceleration factors ($C_1, C_2 = 2$), $R_1, R_2 =$ Random numbers (0-1), $w_k =$ Inertia weight

Figure 14. PSO updating velocities of particles (First stage of iteration)

Cur. Pos. of Partic.	Updating positions of particles	Updated Positions
X_1	$X_{i,j} = X_{i,j} + V_{i,j}$ $1 \leq i \leq p$ $1 \leq j \leq 3$	X_1
X_2		X_2
:		:
:		:
:		:
X_p		X_p

$X_{i,j} = j$ -th variable of i -th particle, $V_{i,j} =$ Velocity of j -th variable of i -th particle

Figure 15. PSO updating positions of particles

Updated Particles	Run DC Motor model in MATLAB to obtain new fitness score	New Fitness Sc.	Updating Pbest and Gbest	Updated Pbest	Updated Gbest
X_1		F_1	$\text{IF } F_i < F(Pbest_i)$ $Pbest_i = X_i$ $F(Pbest_i) = F_i$ ELSE $Pbest_i = Pbest_i$ $F(Pbest_i) = F(Pbest_i)$ $1 \leq i \leq p$	$Pbest_1$	$Gbest = \text{Min}(Pbest)$
X_2		F_2		$Pbest_2$	
:		:		:	
:		:		:	
:		:		:	
X_p		F_p		$Pbest_p$	

$F(Pbest_i) =$ Fitness score of i -th particle's personal best

Figure 16. PSO updating *Pbest* and *Gbest* according to new fitness scores (Last stage of iteration)

Algorithm branches to the velocity and position update stage with these new *Pbest* and *Gbest* values and iteration continues in the same way until iteration number reaches a predetermined value. At the end of whole optimization process, there is no need to make an evaluation to select best value in iterations because *Gbest* is automatically updated at the end of each iteration. Variables of the *Gbest* are the optimal values of PID parameters determined by PSO

3. RESULTS

Parameters used in MATLAB DC motor model are given in Table 3. Table 4 shows the best optimal values of PID parameters obtained at the end of each optimization algorithm. Figure 17 and Table 5 shows the step response of DC motor control system model when it is run with these optimized parameters. From the figure and table, it can be seen that, both algorithms exhibit similar performance at the start up. GA has slightly lower rise time but its overshoot value is almost seven times that of PSO. Also, PSO settles to the reference value more quickly with minimum oscillations. Figure 18 shows the multi-step response of the system. Reference value starts with 2, at the time 1 s it is increased to 3 and at the time 2 s it is decreased to 1. Same results are obtained from this response too.

Table 3. Parameters used in MATLAB DC motor model

Parameters	Symbols	Values
Moment of Inertia	J_m	0.056 kg.m ²
Armature Resistance	R_a	0,5 Ω
Viscous Friction Constant	B_m	0.02 kg.m ² /s
Motor torque/emf constant	K_m	1.8 N.m/A, V.s/rad

Table 4. Best optimal values of PID parameters obtained at the end of each optimization algorithm

	Kp	Ki	Kd
GA - Optimized	3.8978	49.6691	0.1669
PSO - Optimized	4.7865	38.6578	0.2421

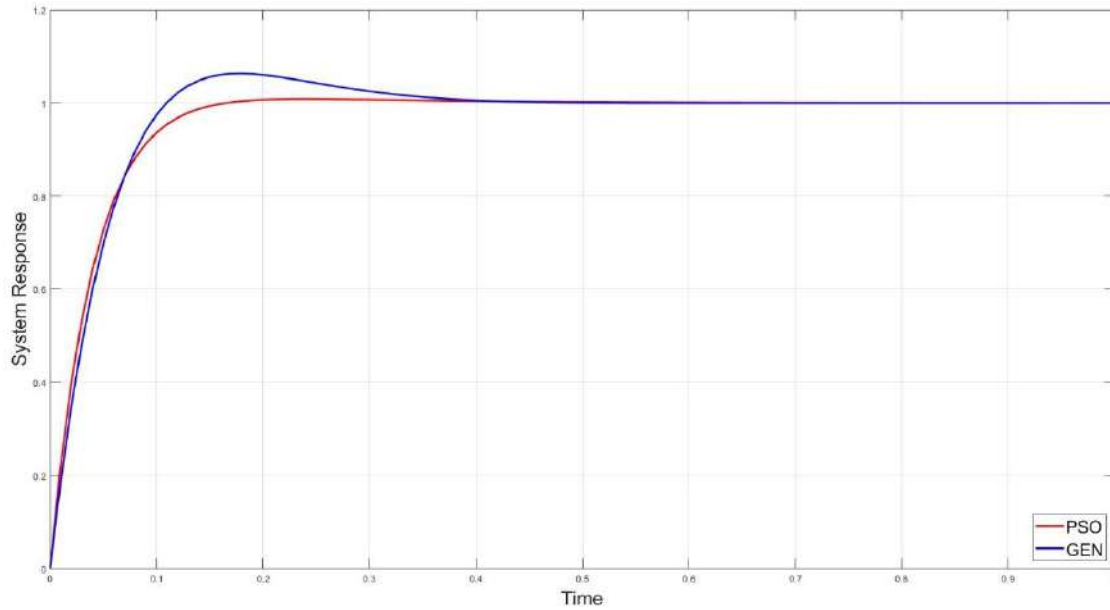


Figure 17. Step response of the DC motor control system model

Table 5. Step response characteristics of each algorithm

	Rise Time	Settling Time	Overshoot
GA - Optimized	0.0754	0.3183	6.3201
PSO - Optimized	0.0812	0.1306	0.8665

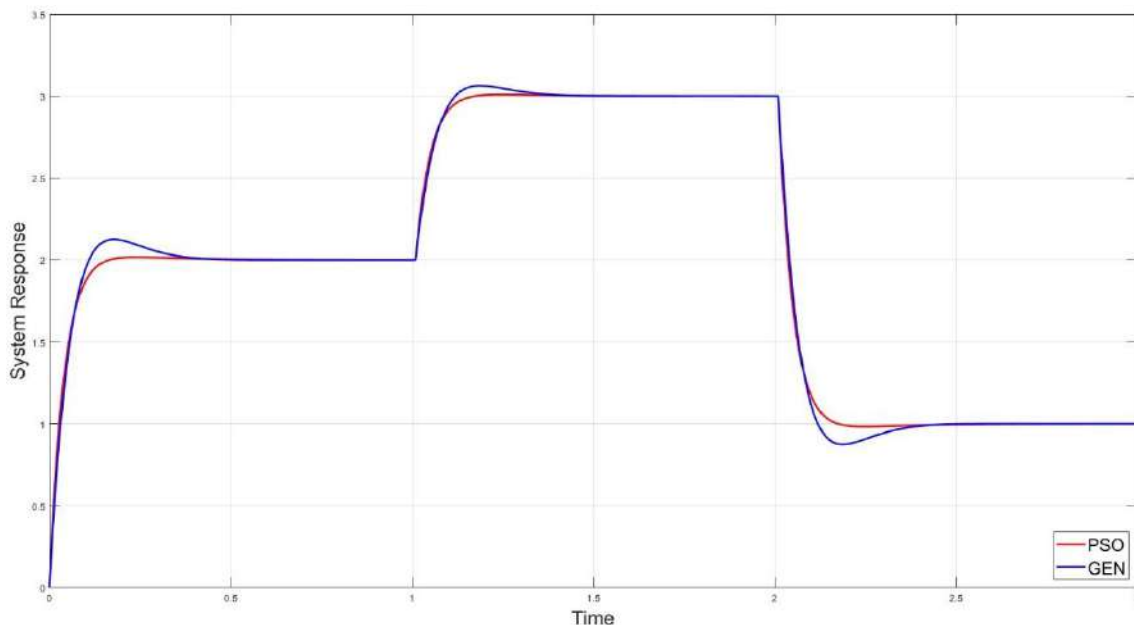


Figure 18. Multi-step response of the DC motor control system model

4. CONCLUSION

In this paper, optimal values of PID control system parameters adapted to a DC motor are determined by two evolutionary algorithms: Genetic Algorithm (GA) and Particle Swarm

Optimization (PSO). Algorithms are carried out by MATLAB commands in an M-File. ITAE is used as fitness score to evaluate individuals/particles whether they are close to the optimal solution or not. Simulation results show that PSO is superior to GA at this mission. When the PID control system model is run with the parameters that are obtained by PSO, it has better transient and steady state characteristics.

REFERENCES

1. Tavakoli, S. and Tavakoli, M., *Optimal Tuning of PID Controllers for First Order Plus Time Delay Models Using Dimensional Analysis*, 4th International Conference on Control and Automation Proceedings, 942-946, Montreal, QC, Canada, 2003.
2. Wu, H., Su, W. and Liu, Z., *Pid Controllers: Design and Tuning Methods*, 9th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 808-813, Hangzhou, China, 2014.
3. Yulin, D., *The Analysis and Implement of PLC-Based PI Control for the Permanent Magnet DC Motor*, 2nd International Conference on Communication Systems, Networks and Applications, 448-451, Hong Kong, China, 2010.
4. Achanta, R. K., and Pamula, V. K., *DC Motor Speed Control Using PID Controller Tuned by Jaya Optimization Algorithm*, IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering, 983-987, Chennai, India, 2017.
5. Korkmaz, M., Aydoğdu, Ö. and Doğan, H., *Design and Performance Comparison of Variable Parameter Nonlinear PID Controller and Genetic Algorithm Based PID Controller*, International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, 1–5, Trabzon, Türkiye, 2012.
6. Pereira, D. S. and Pinto, J. O. P., *Genetic Algorithm Based System Identification and PID Tuning for Optimum Adaptive Control*, International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Monterey, CA, USA, 2005.
7. Ortatepe, Z., *Genetic Algorithm based PID Tuning Software Design and Implementation for a DC Motor Control System*, Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation, 286-300, September, 10, 3, 2023.

NANOPARTİKÜL AKIŞKANLI PARABOLİK GÜNEŞ YOĞUNLAŞTIRICI SİSTEM TASARIMI VE ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi, MEHMET ONUR KARAAĞAÇ

Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,
okaraagac@sinop.edu.tr-0000-0003-1783-9702

ÖZET

Her geçen gün enerji ihtiyacımız artmakta ve bu artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için hali hazırda sahip olduğumuz enerji kaynaklarını etkili bir şekilde kullanmamız gerekliliği önem kazanmaktadır. Enerji üretiminde çeşitliliği arttırırken hem maliyet hem de çevreye duyarlılık ilkeleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kapsamda, temiz ve bedava enerji kaynağı olarak bilinen güneş enerji sistemleri ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada yansıtıcı bir malzeme kullanılarak parabolik dizayn sayesinde güneş ışınlarını yoğunlaştırıcı bir sistem tasarlanmıştır. Bu sayede parabolik sistem ile yüksek sıcaklıkta su elde etmek amaçlanmaktadır. Tasarlanan prototip kapalı sistem sirkülasyon ile çalışması planlanmıştır. Kapalı sistem içerisinde dolaşan Nano akışkan ile 20 litrelik yalıtımlı depodaki su ısıtılacaktır. Ayrıca sistemde gerekli olacak elektriksel gücü su deposu üzerine yerleştirilmiş fotovoltaiik panel sayesinde karşılanacaktır. Fotovoltaiik paneller sayesinde üretilen ihtiyaç fazlası olan elektrik enerjisi akülerde depolanacak ve gece su deposu içine yerleştirilen mini rezistansların çalıştırılarak yalıtımlı depo içerisindeki sıcaklığın korunması sağlanacaktır. Kuracağımız sistem ile yüksek sıcaklıkta su konutlarda kullanım için üretilebilirken, üretilen yüksek sıcaklıkta su, süt ve süt ürünlerinin pastörizasyon işlemlerinde (72-80°C) ve tarımsal ürünlerin kurutma işlemlerinde de kullanılabilmesi beklenmektedir. Ayrıca tarım ürünlerinin kurutma işlemleri daha kolay ve az masrafla gerçekleşecektir. İki farklı akışkan kullanarak sistemin verimleri karşılaştırılacaktır. Tasarladığımız bu sistem ile tank içerisindeki suyu 90 °C'ye yaklaşık 2 saatte çıkartmayı hedeflemekteyiz.

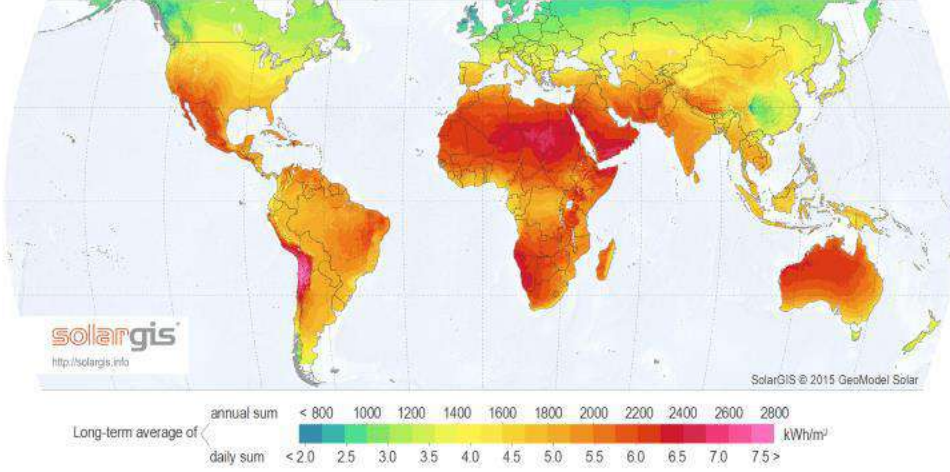
Anahtar Kelimeler: Parabolik oluklu güneş kolektörü. Güneş enerjisi, Nanopartikül katkılı akışkan

1. GİRİŞ

Değişen teknoloji, yenilikler ve ülkeler arasındaki rekabetten dolayı enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Bu enerji ihtiyaçları karşılanmadığı durumda sürdürülebilir teknoloji, ekonomik bağımsızlık ve hedeflenen ülke refahına ulaşmak imkânsız bir hal almıştır. Ülkemizde etkin bir şekilde enerji politikalarını bu yönde düzenlemekte ve enerji çeşitliliğini arttırmak için yatırımlarda bulunmaktadır. Enerji çeşitliliğini arttırırken dikkat edilmesi gereken hususlar arasında bulunan çevre ve maliyet konusu göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi bir adım öne çıkmaktadır [1,2]. Dünyamızı aydınlatan ve enerji sağlayan güneş, güneş sisteminin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Güneşin toplam enerji çıktısı $3,8 \times 10^{20}$ MW ve bu enerji her yöne doğru yayılır. Yayılan toplam radyasyonun yalnızca küçük bir kısmı olan $1,7 \times 10^{14}$ kW dünyaya gelir [3]. Bu miktarlarda gelen güneş ışınları dünya üzerinde hayatın var olmasında büyük bir rol oynamaktadır [4]. Çok eski zamanlarda insanlar ateş yakmak, yemek pişirmek, kurutma gibi işler için güneşten yararlanmıştır. Milattan önce, içbükey aynalar ile güneşi yansıtarak insanlar kendilerini koruma amaçlı kullanmışlardır. 1725 yılında ise güneş ile çalışan su pompası yapılmıştır [5]. Gün geçtikçe de günlük yaşamda daha çok yerini almaya başlamıştır. Türkiye de ise 1970'lerin ortalarında güneş ile ilgili çalışmalara başlanmıştır. Konumundan dolayı, ülkemiz güneşlenme süresi olarak birçok ülkeye nazaran daha avantajlı bir ülkedir [6]. Çizelge 1'de ülkemizin bölgelere göre yıllık toplam güneş enerjisi potansiyeli verilirken Görsel 1'de ise dünyanın güneş enerjisi potansiyelini gösteren bir harita verilmiştir. Hem Çizelge hem de verilen Görsel güneş enerjisinden maksimum yararlanabilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmesi gerekliliğine güzel bir motivasyondur.

Çizelge 1: Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı [7]

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -Yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971



Görsel 1: Dünya Güneş Enerjisi Haritası [8]

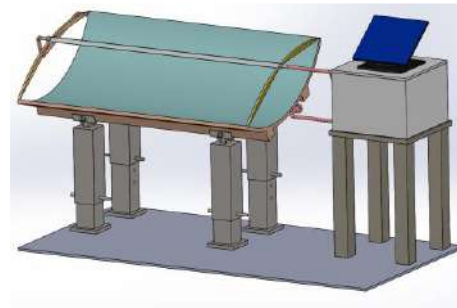
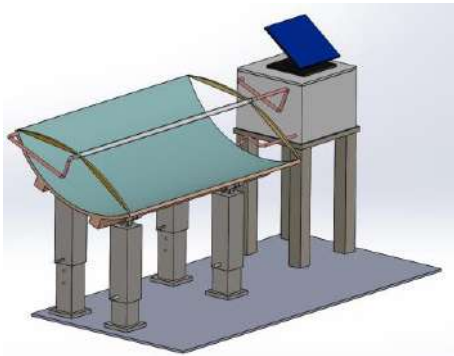
Güneş enerjisi teknolojileri teknolojik düzey, malzeme ve yöntem açısından farklı kullanımları olmasının yanı sıra iki başlık altında sınıflandırılabilir: İlk olarak güneş enerjisinden ısı elde edilerek bu elde edilen ısının doğrudan kullanılması ya da elektrik üretiminde de kullanılabilir. İkinci olarak fotovoltaik piller, bu yarı-iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektrığe çevirmesi ile kullanılabilir. Bu projede yoğunlaştırıcı bir malzeme ile parabolik bir sistem oluşturulacaktır. Yoğunlaştırıcı parabolik sistem sayesinde sıcak su elde etmeyi amaçlanmaktadır. Sistem tasarımı bir sonraki bölümlerde verilmiştir. Kısaca, parabolik sistemde güneş ışınları içerisinde nano akışkan geçen boruya odaklanacak ve akışkanın depoladığı ısı pompa ile sirkülasyonu sayesinde ısı yalıtımlı su deposuna kapalı devre sistemi ile aktarılacaktır. Pompada ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi sistemin yanına kurulan PV paneller tarafından sağlanacaktır. Arta kalan enerji akülerde depolanacak ve geceleri yalıtımlı su deposundaki suyun ısını sabit tutmak için kullanılacak olan rezistansların enerjisi için kullanılacaktır. Bu sayede yenilenebilir enerjiye olan talebin artması ile büyük bir odak kaynağı olan güneş enerji sistemlerinin verimli bir şekilde kullanımı için bir prototip tasarımı hayata geçirilmiş olacaktır. Kuracağımız parabolik sistem ile büyük fabrikalarda yaşanan pastörizasyon sorunlarına ve tarım ürünlerinde kurutma amaçlı kullanılan sistemlerin yeterli olmayışına çözüm sağlanacaktır. Üretilen sıcak su pastörizasyon işlemlerinde ve su buharı da tarımsal ürünlerin kurutma işlemlerinde kullanılabilmesi beklenmektedir. Ülkemizde üretilen süt ve süt ürünlerinin pastörizasyon işlemleri yaklaşık 72-80°C sıcaklıklarda gerçekleşmektedir [9]. Meyve, meyve suyu ve domates suyu vb. konserve işlemleri ise 85-100 °C sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Ayrıca üretim yerlerinde yapılan sterilizasyon işlemleri için de yüksek sıcaklıklar gerekmektedir. Bu kapsam projede üretilecek prototipin geliştirilmesi ile çeşitli alanlarda sistemimizin kullanılabilmesi beklenmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Projemiz güneş yoğunlaştırıcı parabolik sistemdir. Güneş ışığını yansıtan reflektör bir yüzey bulunmaktadır. Parabolik sistemin ortasında, reflektör yüzeyin güneşi yansıttığı aynı zamanda akışkanın geçirildiği cam boru ve bakır boru mevcuttur. Ayrıca sistemin yanında içerisinde rezistans bulunan su dolu yalıtılmış tank vardır. Nano akışkan tank içerisindeki serpantinden geçirilecektir. Pompa mikro kontrolör sistemi ile sıcaklık farkına bağlı çalışmaktadır. Pompa elektrik gücü ise güneş panelinden karşılanacaktır. Gündüz panellerden elde edilen fazla elektrik aküler vasıtasıyla depolanacak ve geceleri suyun belli bir sıcaklıkta kalmasını sağlayacak. Pompa ilk çalıştığı anda sisteme gönderilen akışkan belli sıcaklıkta gidecektir. Parabolik sistemin ortasında yer alan bakır borudan geçirilerek daha yüksek sıcaklıklara çıkmayı hedeflenmektedir. Proje kapsamında, parabolik yüzeye sahip bir yapının içbükey kısmının güneş ışınlarını yansıtarak, odak noktasında bulunan cam boru içerisindeki sıvıyı ısıtmasıyla elde edilecek sıcak suyun kullanılması hedeflenmektedir. Bu kapsamda yapılan tasarımda bulunacak olan sistemler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- İçbükey yansıtıcı yüzey
- Yansıtıcı yüzeyin acısını düzenlemede kullanılacak ayarlanabilir ayaklar
- Odak noktasına yerleştirilecek cam boru
- Isınan suyu biriktireceği depo
- Sıvının devridaim etmesi için pompa
- Depo içerisine yerleştirilecek rezistans
- Pompaya güç verecek olan güneş paneli

Kurulması hedeflenen sistemi gösteren şema Solidworks 2014 programı ile tasarlanmış ve Görsel 2’de gösterilmiştir. Sistemin öncelikle sade bir parabolik yansıtıcı ile odak noktasındaki sıvıyı ısıtması planlanmaktadır. Kurulacak sistemlerin verimlilikleri gözlenecektir.





Görsel 2. Parabolik güneş yoğunlaştırıcı sistem

3. TERMODİNAMİK ANALİZ

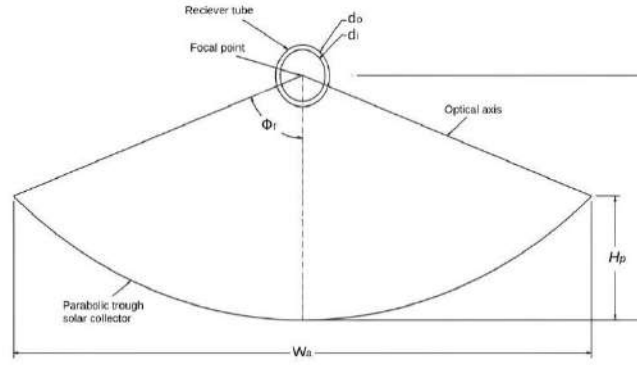
Kurutma işletmelerinde kullanılan 90 °C su ihtiyacını karşılamak amacıyla yoğunlaştırıcı parabolik sistemin boyutlandırma hesaplamaları yapılmıştır. Kullanılan akışkanın kaç derece arttırılmak istendiği dikkate alınarak gerekli olan yoğunlaştırıcı yüzey alanı bulunmuştur. Isıtılacak olan akışkanın kütlesi 20 kg olduğu ve akışkanın sıcaklığının 20 °C'den 90 °C'ye çıkarılması için gereken sürenin hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Yoğunlaştırıcı güneş sisteminin yüzey alanının hesaplanması aşamasında ilk olarak saf su dikkate ele alınmıştır [10].

$$Q_{su} = m \times c \times \Delta T = 20 \text{ kg} \times 4,186 \text{ (joule /g x } ^\circ\text{C)} \times (90-20) = 5860,4 \text{ kJ} \quad (1)$$

Isıya ihtiyaç duyulmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan Sinop ilinin güneşlenme verileri ışığında nisan ayında günlük ortalama metre kareye gelen güneş radyasyonu 789,7 W/m² gün ve 6,6 saatlik günlük güneşlenme süresi dikkate alınarak; Gerekli olan 5860,4 kJ' lük ısı miktarını 1 m² güneşlenme alanından sağlayabilmek için;

$$t = Q_{su} / Q_{rad} = 5860,4 / (0,7896969697 \times 3600) = 2,06 \text{ saat} \quad (2)$$

Yaklaşık 2 saate ihtiyaç vardır. Yoğunlaştırılmış güneş sistemindeki kayıplar ve parabolik sistem verimlerinin %30-70 arasında oluşu dikkate alındığında 1,5 – 2 m²'lik yüzey alanına sahip kolektörün yeterli olacağı ön görülmektedir. Parabolik şekilli bir yansıtıcı ve bir alıcıdan oluşmaktadır. Yansıtıcı yüzey üzerine gelen güneş ışınımı yoğunlaştırarak odak noktasındaki alıcıya verir. Parabolik yansıtıcının geometrik kesit diyagramı Görsel 3'de gösterilmiştir. Parabolik açıklığı (Wa) 80 cm ve parabol yüksekliği (Hp) 15 cm alınarak aşağıdaki denkleme göre parabolün odak noktası hesaplanmıştır [11].



Görsel 3. Parabolik yansıtıcı geometrinin kesit diyagramı

$$f = \frac{\left(\frac{W_a}{2}\right)^2}{4H_p} \quad (3)$$

Burada W_a , Parabolik açıklığının uzunluğunu, H_p ise parabol yüksekliği ifade etmektedir. Buradan parabolün odak noktası mesafesi 26,6 cm olarak bulunur. 80 cm'lik yayın iki ucu arasındaki doğrusal mesafe güneşlenme alanının genişliği, parabol iskeletinin uzunluğunun 210 cm alınması durumunda yüzey alanını 1,68 m² olarak bulunur. 1,68 m² bu alan 20 °C suyu 90 °C'ye 2 saatte getirebilecek sistem için yeterlidir.

4. SONUÇLAR

Kuracağımız parabolik sistem ile fabrikalarda pastörizasyon işlemleri için gerekli enerji azaltılacaktır. Tasarladığımız bu sistem ile tank içerisindeki suyu 90 °C'ye yaklaşık 2 saatte çıkartmayı hedeflemekteyiz. Yapılan teorik hesaplamalar sonunda Sinop ilinde kurulması planlanan parabolik sistemin nisan ayı ışınım verilerine göre kesit alanı 1,68 m² olarak hesaplanmıştır. Bu alan 20kg suyun sıcaklığı 20 °C suyu 90 °C'ye 2 saatte çıkarabileceği düşünüldüğünde evlerde su ısıtması için kullanılan geleneksel güneş sistemlerinden daha verimli çalışacağı düşünülmektedir. Ayrıca tarım ürünlerinin kurutma işlemleri daha kolay ve az masrafla gerçekleşecektir. İki farklı akışkan kullanarak sistemin verimleri karşılaştırılmış olacaktır. Farklı formlardaki akışkanın geçirildiği boruların ve verim karşılaştırılması yapılacaktır. Sistem boyutlarının artırılması ile istenilen sıcaklığa daha kısa sürede çıkılacağı beklenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] M. Yılmaz, Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi 4 (2012) 33–54. https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000064.
- [2] S. Sayın, İ. Koç, GÜNEŞ ENERJİSİNDEN AKTİF OLARAK YARARLANMADA KULLANILAN FOTOVOLTAİK (PV) SİSTEMLER VE YAPILARDA KULLANIM BİÇİMLERİ, sujest 26 (2011) 89–106.
- [3] S.A. Kalogirou, Solar thermal collectors and applications, Progress in Energy and Combustion Science 30 (2004) 231–295. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.02.001>.

- [4] M.O. Karaağaç, H. Oğul, F. Bulut, Sinop İli Koşullarında Monokristal ve Polikristal Fotovoltaik Panellerin Değerlendirilmesi, *Türk Doğa ve Fen Dergisi* 10 (2021) 176–181. <https://doi.org/10.46810/tdfd.855488>.
- [5] H. Ertas, A.İ. Şen, A. Parmaksızoğlu, A.İ. Şen, Okul Dışı Bilimsel Etkinliklerin 9. Sınıf Öğrencilerinin Enerji Konusunu Günlük Hayatla İlişkilendirme Düzeyine Etkisi, *NFE-EJSME* 5 (2011) 178–198.
- [6] E. Kapluhan, ENERJİ COĞRAFYASI AÇISINDAN BİR İNCELEME: GÜNEŞ ENERJİSİNİN DÜNYA'DAKİ VE TÜRKİYE'DEKİ KULLANIM DURUMU, *Journal of Geography* (2015) 70–98.
- [7] M.O. Karaağaç, H. Oğul, S. Bardak, Kanatlı Hayvan Çiftliği İçin Güneş Enerji Sisteminin Tasarımı ve Maliyet Hesabı, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 8 (2020) 711–722. <https://doi.org/10.29130/dubited.490154>.
- [8] Global Solar Atlas, (n.d.). <https://globalsolaratlas.info/map> (accessed December 18, 2024).
- [9] A. Özenoğlu, *Temel Beslenme İlkeleri ve Laboratuvar Uygulamaları*, Eğitim Yayınevi, 2024.
- [10] M.O. Karaağaç, A. Kabul, F. Yiğit, Kombine Doğalgaz Çevrim Santralinin Performans Analizi, *Politeknik Dergisi* (2019) 319–325. <https://doi.org/10.2339/politeknik.403996>.
- [11] M. Chafie, M.F. Ben Aissa, A. Guizani, Energetic end exergetic performance of a parabolic trough collector receiver: An experimental study, *Journal of Cleaner Production* 171 (2018) 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.012>.

E-GAMMA-T_{1/2}-SPACES

Professor Dr. Aynur KESKIN KAYMAKCI

Selcuk University, Faculty of Sciences,

akeskin@selcuk.edu.tr 0000-0001-5909-8477

ABSTRACT

First of all, we give some characterizations of the concepts both e- γ -closed sets and e- γ -g-closed sets. Then, we obtain that e- γ -T_{1/2}-space is stronger than e- γ -T₀-space and weaker than e- γ -T₁-space. To give a decomposition of e- γ -T₁-space, we define the concept of e- γ -symmetric as a new space and give a characterization of this space. Finally, we also obtain that each of the e- γ -T_i-space such that $i=\{0,1/2,1\}$ concepts coincides with the other in e- γ -symmetric spaces.

Keywords : e- γ -open sets, e- γ -closed sets, e- γ -g-closed sets, e- γ -T_{1/2}-spaces, e- γ -T₀-spaces, e- γ -T₁-spaces, e- γ -symmetric spaces.

1. INTRODUCTION AND PRELIMINARIES

Let (Z, τ) be a topological space (briefly, space) and $X \subseteq Z$. The closure of X and the interior of X are denoted by $c(X)$ and $i(X)$, respectively. An operation γ [2] on a topology τ is a mapping from τ into power set $\wp(Z)$ of Z such that $T \subseteq \gamma(T)$ for each $T \in \tau$, where $\gamma(T)$ denotes the value of γ at T . A subset X of Z is called γ -open[2] if for each $z \in X$, there exists an open set U such that $z \in U$ and $\gamma(U) \subseteq X$. Then, τ_γ denotes the set of all γ -open sets in Z . Of course, $\tau_\gamma \subseteq \tau$ and τ_γ doesn't form a topology in generally[4]. Complements of γ -open sets are called γ -closed. The τ_γ -interior [3] of X is denoted by $\tau_\gamma-i(X)$ and defined to be the union of all γ -open sets of Z contained in X . The τ_γ -closure[3] of X is denoted by $\tau_\gamma-c(X)$ and defined to be the intersection of all γ -closed sets of containing in X . So, X is γ -open iff $X = \tau_\gamma-i(X)$ and X is γ -closed iff $X = \tau_\gamma-c(X)$ [3].

In this paper, (Z, τ, γ) ; we will show the (Z, τ) space and the space obtained by γ any operator defined on the topology τ and call this space operator space for short.

We recall necessary some definitions and lemmas.

Definition 1.1. ([1]) Let (Z, τ, γ) be an operation space and $X \subseteq Z$. Then

- (1) X is said to be an e- γ -open (briefly, e- γ -o.) if $X \subseteq c(\tau_\gamma-i(X)) \cup i(\tau_\gamma-c(X))$
- (2) X is said to be an e- γ -closed (e- γ -c.) if and only if it's complement is an e- γ -open.

Definition 1.2. ([1]) Let X be a subset of an operation space (Z, τ, γ) . The intersection of all e- γ -c. sets containing X is said to be e- γ -closure of X .

In this paper, it is denoted by $e\gamma-c(X)$.

Lemma 1.3. ([1]) For a subset X of an operation space (Z, τ, γ) . Then, the next property is true: “ X is e - γ -c. set in (Z, τ, γ) if and only if $X = e\gamma\text{-}c(X)$.”

Definiton 1.4. ([1]) A subset of X of an operation space (Z, τ, γ) is said to be e - γ -g-closed (briefly, e - γ -g-c.) if $e\gamma\text{-}c(X) \subseteq T$ whenever $X \subseteq T$ and T is an e - γ -o. set in Z .

In any operation space, every e - γ -c. set is an e - γ -g-c. But the converse of this implication isn't true as generally. Let an space (Z, τ) such that $Z = \{x, y, z\}$ and $\tau = \{\emptyset, Z, \{x\}, \{x, y\}, \{x, z\}\}$. Define an operation $\gamma: \tau \rightarrow \wp(Z)$ such that $\gamma(X) = c(X)$ for $y \in X$ and $\gamma(X) = X$ for $y \notin X$. Then, $X = \{y, z\} \subseteq Z$ is an e - γ -g-c. but it isn't e - γ -c. ([1])

Definition 1.5. ([1]) An operation space (Z, τ, γ) is said to be

- (1) e - γ - T_0 -space if for each pair of distinct points z, y in Z there exists an e - γ -o. set T such that either $z \in T$ and $y \notin T$ or $y \in T$ and $z \notin T$.
- (2) e - γ - T_1 -space if for each pair of distinct points z, y in Z there exist two e - γ -o. sets T and U such that either $z \in T$ and $y \notin T$ and $y \in U$ and $z \notin U$.
- (3) e - γ - $T_{1/2}$ -space if every e - γ -g-c. set is e - γ -c.

Lemma 1.6. ([1]) An operation space (Z, τ, γ) is an e - γ - T_1 -space if and only if the singletons are e - γ -c. sets.

Lemma 1.7. ([1]) Every e - γ - T_1 -space is an e - γ - T_0 .

2. E- γ -G-CLOSED SETS AND E- γ - $T_{1/2}$ -SPACES

We must state that this section is consisted of two parts. In the first part, we obtain some characterizations and properties both e - γ -c. sets and e - γ -g-c. set in operation topological spaces. In the last part, we give that some fundamental and important properties of e - γ - $T_{1/2}$ -space.

Theorem 2.1. For the e - γ -closure of subsets X, Y in an operation space (Z, τ, γ) , the next properties hold:

- (1) If $X \subseteq Y$, then $e\gamma\text{-}c(X) \subseteq e\gamma\text{-}c(Y)$;
- (2) $e\gamma\text{-}c(X)$ is an e - γ -c., that is $e\gamma\text{-}c(X) = e\gamma\text{-}c(e\gamma\text{-}c(X))$;
- (3) $z \in e\gamma\text{-}c(X)$ if and only if $X \cap T \neq \emptyset$ for every e - γ -o. set T of Z containing z .

Proof. It is obvious.

Proposition 2.2. In an operation space (Z, τ, γ) , $X \subseteq Z$ is e - γ -g-c. if and only if $e\gamma\text{-}c(\{z\}) \cap T \neq \emptyset$ holds for every $z \in e\gamma\text{-}c(X)$.

Proof. Sufficiency. Let T be an e - γ -o. set and $X \subseteq T$. According to hypothesis, there exists a $y \in e\gamma\text{-}c(\{z\})$ and $y \in X \subseteq T$. It follows from Theorem 2.1(3) that $T \cap \{z\} \neq \emptyset$. Therefore $z \in T$ and this implies that $e\gamma\text{-}c(X) \subseteq T$. So, X is an e - γ -g-c. in (Z, τ) .

Necessity. Let X be an $e-\gamma$ -g-c. subset of Z and $z \in e\gamma\text{-c}(X)$ such that $e\gamma\text{-c}(\{z\}) \cap T \neq \emptyset$. According to Theorem 2.1(2) since $e\gamma\text{-c}(\{z\})$ is an $e-\gamma$ -c., we have $(Z - (e\gamma\text{-c}(\{z\})))$ is an $e-\gamma$ -o. set from Definition 1.1. Since $X \subseteq (Z - (e\gamma\text{-c}(\{z\})))$ and X is an $e-\gamma$ -g-c., we have $e\gamma\text{-c}(X) \subseteq (Z - (e\gamma\text{-c}(\{z\})))$ and hence $z \notin e\gamma\text{-c}(X)$. This is contradiction and hence $e\gamma\text{-c}(\{z\}) \cap X \neq \emptyset$.

Theorem 2.3. Let (Z, τ, γ) be an operation space and $X \subseteq Z$. If $e\gamma\text{-c}(\{z\}) \cap X \neq \emptyset$ holds for every $z \in e\gamma\text{-c}(X)$, then $(e\gamma\text{-c}(X) - X)$ doesn't contain a non-empty $e-\gamma$ -c. set.

Proof. Let K is a non-empty $e-\gamma$ -c. set and $K \subseteq (e\gamma\text{-c}(X) - X)$. If $z \in K$, then we have $z \in e\gamma\text{-c}(X)$. So, we have $\emptyset \neq (e\gamma\text{-c}(\{z\}) \cap X) \subseteq (e\gamma\text{-c}(K) \cap X) = K \cap X$ and so $K \cap X \neq \emptyset$. This is a contradiction.

Corollary 2.4. For a subset X of operation space (Z, τ, γ) , the next equivalent is hold: “ X is an $e-\gamma$ -g-c. set if and only if $X = (K - F)$, where K is an $e-\gamma$ -c. and F contains no non-empty $e-\gamma$ -c. subset.”

Proof. Necessity. The proof is obtained from Proposition 2.2 and Theorem 2.3 by taking $K = e\gamma\text{-c}(X)$ and $F = (e\gamma\text{-c}(X) - X)$.

Sufficiency. If $X = (K - F)$ and $X \subseteq T$ with T is an $e-\gamma$ -o., then $(K \cap (Z - T))$ is an $e-\gamma$ -c. subset of F and hence it is empty. Therefore, $e\gamma\text{-c}(X) \subseteq K \subseteq T$.

Theorem 2.5. Let (Z, τ, γ) be an operation space. If $X \subseteq Z$ is an $e-\gamma$ -g-c. set and $X \subseteq Y \subseteq e\gamma\text{-c}(X)$, then $Y \subseteq Z$ is an $e-\gamma$ -g-c.

Proof. Let X be an $e-\gamma$ -g-c. set such that $X \subseteq Y \subseteq e\gamma\text{-c}(X)$. Let T be an $e-\gamma$ -o. set of Z such that $Y \subseteq T$. Since X is an $e-\gamma$ -g-c., we have $e\gamma\text{-c}(X) \subseteq T$. Using Theorem 2.1(1) and Theorem 2.1(2), $e\gamma\text{-c}(X) \subseteq e\gamma\text{-c}(Y) \subseteq e\gamma\text{-c}(e\gamma\text{-c}(X)) = e\gamma\text{-c}(X) \subseteq T$ and hence $e\gamma\text{-Cl}(Y) \subseteq T$. So, $T \subseteq Z$ is an $e-\gamma$ -o. and $Y \subseteq Z$ is an $e-\gamma$ -g-c..

Theorem 2.6. Let (Z, τ, γ) be an operation space. Then for each $z \in Z$, either $\{z\} \subseteq Z$ is an $e-\gamma$ -c. or $(Z - \{z\}) \subseteq Z$ is an $e-\gamma$ -g-c..

Proof. Assume that $\{z\}$ isn't $e-\gamma$ -c., then $(Z - \{z\})$ isn't $e-\gamma$ -o. from Definition 2.1. Let T be any $e-\gamma$ -o. set such that $(Z - \{z\}) \subseteq T$ and hence $T = Z$. Therefore $e\gamma\text{-c}(Z - \{z\}) \subseteq T$ and hence $(Z - \{z\})$ is an $e-\gamma$ -g-c..

Theorem 2.7. An operation space (Z, τ, γ) is an $e-\gamma$ - $T_{1/2}$ -space if and only if $\{z\} \subseteq Z$ is an $e-\gamma$ -c. or $e-\gamma$ -o..

Proof. Necessity. Assume that $\{z\} \subseteq Z$ isn't $e-\gamma$ -c.. From Theorem 2.6, $(Z - \{z\})$ is an $e-\gamma$ -g-c. and using hypothesis we have $(Z - \{z\})$ is an $e-\gamma$ -c. and hence $\{z\} \subseteq Z$ is an $e-\gamma$ -o..

Sufficiency. Let K be an $e-\gamma$ -g-c. subset of Z and $z \in e\gamma\text{-c}(K)$. Then, $\{z\}$ is an $e-\gamma$ -c. or $e-\gamma$ -o..

(1) Assume that $\{z\}$ is an $e\text{-}\gamma\text{-c.}$ and $z \notin K$. Then, we have $z \in (e\gamma\text{-c}(K) - K)$. But according to Theorem 2.3, this isn't possible and hence we have $z \in K$. So $e\gamma\text{-c}(K) = K$ and hence K is $e\text{-}\gamma\text{-c.}$

(2) Assume that $\{z\}$ is an $e\text{-}\gamma\text{-o.}$ By using Theorem 2.1(3), we have $\{z\} \cap K \neq \emptyset$ and hence $z \in K$. This implies that $e\gamma\text{-c}(K) \subseteq K$ and hence K is $e\text{-}\gamma\text{-c.}$

Eventually, we obtain that (Z, τ, γ) is an $e\text{-}\gamma\text{-}T_{1/2}$ -space from Definition 1.5(3).

Definition 2.8. An operation space (Z, τ, γ) is called an $e\text{-}\gamma$ -symmetric space if for z and y in Z , $z \in e\gamma\text{-c}(\{y\})$ implies that $y \in e\gamma\text{-c}(\{z\})$.

Theorem 2.9. (Z, τ, γ) is an $e\text{-}\gamma$ -symmetric space if and only if $\{z\} \subseteq Z$ is an $e\text{-}\gamma\text{-g-c.}$, for each $z \in Z$.

Proof. Necessity. Let $\{z\} \subseteq T$, $T \subseteq Z$ is an $e\text{-}\gamma\text{-o.}$ and $e\gamma\text{-c}(\{z\}) \not\subseteq T$. So, $[e\gamma\text{-c}(\{z\}) \cap (Z - T)] \neq \emptyset$ is true. There is $y \in [e\gamma\text{-c}(\{z\}) \cap (Z - T)]$ and using Definition 2.8, $z \in e\gamma\text{-c}(\{y\})$ is obtained. Since $y \in (Z - T)$ and $(Z - T) \subseteq Z$ is an $e\text{-}\gamma\text{-c.}$, $e\gamma\text{-c}(\{y\}) \subseteq (Z - T)$ from Lemma 1.3 and Theorem 2.1(2). So, $z \in e\gamma\text{-c}(\{y\}) \subseteq (Z - T)$ and $z \notin T$. This is contradiction and hence, $\{z\}$ is an $e\text{-}\gamma\text{-g-c.}$ for each $z \in Z$.

Sufficiency. Let $\{z\}$ is an $e\text{-}\gamma\text{-g-c.}$, for each $z \in Z$. Let $z \in e\gamma\text{-c}(\{y\})$ and $y \notin e\gamma\text{-c}(\{z\})$. Then, $\{y\} \subseteq (Z - e\gamma\text{-c}(\{z\}))$ and $e\gamma\text{-c}(\{y\}) \subseteq (Z - e\gamma\text{-c}(\{z\}))$ from Definition 1.4. So $z \in (Z - e\gamma\text{-c}(\{y\}))$. This is a contradiction and we have $y \in e\gamma\text{-c}(\{z\})$. This shows that (Z, τ, γ) is an $e\text{-}\gamma$ -symmetric.

Corollary 2.10. Every $e\text{-}\gamma\text{-}T_1$ -space is an $e\text{-}\gamma$ -symmetric.

Proof. Let (Z, τ, γ) is an $e\text{-}\gamma\text{-}T_1$ -space. Using Lemma 1.6, every singleton is an $e\text{-}\gamma\text{-g-c.}$ subset of Z . Hence we obtained that (Z, τ, γ) is an $e\text{-}\gamma$ -symmetric space from Theorem 2.9.

Corollary 2.11. Let (Z, τ, γ) be an operation space. (Z, τ, γ) is an $e\text{-}\gamma\text{-}T_1$ -space if and only if it is an $e\text{-}\gamma$ -symmetric and $e\text{-}\gamma\text{-}T_0$.

Proof. Necessity. The proof is obtained from Corollary 2.10 and Lemma 1.7.

Sufficiency. Let $y \neq z$ and (Z, τ, γ) be an $e\text{-}\gamma\text{-}T_0$ -space. Assume that $z \in T \subseteq (Z - \{y\})$ for some $T \subseteq Z$ is an $e\text{-}\gamma\text{-o.}$ So, $z \notin e\gamma\text{-c}(\{y\})$ and hence $y \notin e\gamma\text{-c}(\{z\})$. Then, there exists an $e\text{-}\gamma\text{-o.}$ set U such that $y \in U \subseteq (Z - \{z\})$. This shows that (Z, τ, γ) be an $e\text{-}\gamma\text{-}T_1$.

Remark 2.12. For any operation space (Z, τ, γ) , the next statements are hold:

- (1) If (Z, τ, γ) is $e\text{-}\gamma\text{-}T_1$ -space, then it is an $e\text{-}\gamma\text{-}T_{1/2}$.
- (2) If (Z, τ, γ) is $e\text{-}\gamma\text{-}T_{1/2}$ -space, then it is an $e\text{-}\gamma\text{-}T_0$.

Proposition 2.13. For an $e\text{-}\gamma$ -symmetric space (Z, τ, γ) , the next properties are equivalent:

- (1) (Z, τ, γ) is an $e\text{-}\gamma\text{-}T_0$ -space.
- (2) (Z, τ, γ) is an $e\text{-}\gamma\text{-}T_{1/2}$ -space.
- (3) (Z, τ, γ) is an $e\text{-}\gamma\text{-}T_1$ -space.

Proof. (1) \Leftrightarrow (3). The proof is obvious from that Corollary 2.11.
(3) \Rightarrow (2) and (2) \Rightarrow (1) are obtained directly from Remark 2.13.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Operation topological space is exactly as unification of topological spaces. To contribute of this area, we have devoted this article to investigating a new generalization of closed sets which name is $e-\gamma$ -closed. We give a characterization of $e-\gamma-T_{1/2}$ -spaces which is related to an $e-\gamma$ -closed set or $e-\gamma$ -open set. To obtain decomposition of $e-\gamma-T_1$ -spaces, we introduce the concept of $e-\gamma$ -symmetric spaces. We obtain that $e-\gamma-T_{1/2}$ -spaces is between $e-\gamma-T_0$ -spaces and $e-\gamma-T_1$ -spaces. Finally, in $e-\gamma$ -symmetric spaces we also give that the three separation axioms mentioned above coincide with each other.

Our future plan will focus on decompositions of $e-\gamma$ -closed sets related to $e-\gamma-g$ -closed. Then, we will study on continuity using what we can get.

REFERENCES

- [1] Horoz, H. A., *Topolojik Uzaylarda $e-\gamma$ -açık Kümeler Ailesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selcuk University, Institute of Sciences, Konya, 2024.
- [2] Kasahara, S., Operation Compact Spaces, *Mathematica Japonica*, 24,1, 1979, 97-105.
- [3] Krisnan G. S. S., A New Class of semi open sets in a topological space, *Proc. Ncnm*, Allied Publishers, New Delhi, 2003, 305-311.
- [4] Ogata, H., Operation on topological spaces and associated topology, *Mathematica Japonica*, 36,1, 1991, 175-184.

THREE FUNCTIONS FOR E-GAMMA-OPEN SETS

Professor Dr. Aynur KESKIN KAYMAKCI

Selcuk University, Faculty of Sciences,

akeskin@selcuk.edu.tr 0000-0001-5909-8477

ABSTRACT

In this study, in order to answer the questions of when the concepts of both $e-\gamma$ -g-closed sets and $e-\gamma-T_{1/2}$ -spaces in operator topological spaces are preserved we introduce a new family of functions called $e-\gamma$ -irresolute functions and give some characterizations of them. By introducing the $e-\gamma$ -continuous functions regarding $e-\gamma$ -open sets, some of its properties and equivalences are obtained. Besides, we present a new the concept of the graph of a function called an $e-\gamma$ -closed graph and investigate some of their basic properties.

Keywords : $e-\gamma$ -open sets, $e-\gamma$ -closed sets, $e-\gamma$ -g-closed sets, $e-\gamma-T_{1/2}$ -spaces, $e-\gamma$ -irresolute functions, $e-\gamma$ -continuous functions, $e-\gamma$ -closed graph function.

1. INTRODUCTION AND PRELIMINARIES

Let G be a subset of Z and (Z, ω) be a topological space (briefly, space). The closure of G (resp. interior of G) is denoted by $\text{clo}(G)$ (resp. $\text{int}(G)$). γ is a function defined from ω into $\wp(Z)$, for every open set P to a subset $\gamma(P)$ satisfying $P \subseteq \gamma(P)$ ($\wp(Z)$ is power set of Z) and γ is said to be an operator on ω [2]. $G \subseteq Z$ is said to be γ -open [2] (briefly, γ -op.) iff for each $z \in G$, there exists an $P \in \omega$ such that $z \in P$ and $\gamma(P) \subseteq G$. The set of all γ -op. sets of Z is indicated by ω_γ and $\omega_\gamma \subseteq \omega$ is hold ([5]). Complements of γ -op. sets are said to be γ -closed (briefly, γ -cl). The ω_γ -interior [3] (resp. ω_γ -closure [3]) of G is denoted by $\omega_\gamma\text{-int}(G)$ (resp. $\omega_\gamma\text{-clo}(G)$) and defined by $\omega_\gamma\text{-int}(G) = \bigcup \{P \subseteq G : P \text{ is a } \gamma\text{-op. set}\}$ (resp. $\omega_\gamma\text{-clo}(G) = \bigcap \{T \subseteq Z : G \subseteq T \text{ and } T \text{ is } \gamma\text{-cl. set}\}$). Of course, the next two equivalences are hold: G is γ -op. set iff $G = \omega_\gamma\text{-int}(G)$ and G is γ -cl. set iff $G = \omega_\gamma\text{-clo}(G)$ ([3]).

The space consisting of the (Z, ω) space and the γ operator defined on the ω topology will be indicated as (Z, ω, γ) and will be briefly called the operator space. Recall some necessary knowledges.

Definition 1.1. ([1]) Let (Z, ω, γ) be an operation space and $G \subseteq Z$. Then G is said to be an $e-\gamma$ -open (briefly, $e-\gamma$ -op.) if $G \subseteq \text{clo}(\omega_\gamma\text{-int}(G)) \cup \text{int}(\omega_\gamma\text{-clo}(G))$. Hence, G is said to be an $e-\gamma$ -closed (briefly, $e-\gamma$ -cl.) if $(Z-G)$ is an $e-\gamma$ -op..

The family of all $e-\gamma$ -op. sets of Z will be denoted by $e\gamma O(Z)$.

Remark 1.2. ([1]) Although $e\gamma O(Z)$ is closed under arbitrary union but isn't closed under finite intersection. So, it doesn't form a topology.

Definition 1.3. ([1]) For $G \subseteq Z$ in (Z, ω, γ) , $e\text{-}\gamma\text{-clo}(G) = \bigcap \{T \subseteq Z : G \subseteq T, T \text{ is } e\text{-}\gamma\text{-cl. set}\}$ is said to be $e\text{-}\gamma\text{-closure}$ of G .

Lemma 1.4. ([1]) For $G \subseteq Z$ in (Z, ω, γ) , then G is $e\text{-}\gamma\text{-cl. set}$ iff $G = e\gamma\text{-clo}(G)$.

Definition 1.5. ([1]) (Z, ω, γ) is said to be

(1) $e\text{-}\gamma\text{-}T_0\text{-space}$ if for each $z_1, z_2 \in Z$ when $z_1 \neq z_2$ there exists a $P \in e\gamma O(Z)$ so that either $z_1 \in P$ and $z_2 \notin P$ or $z_2 \in P$ and $z_1 \notin P$.

(2) $e\text{-}\gamma\text{-}T_1\text{-space}$ if for each $z_1, z_2 \in Z$ when $z_1 \neq z_2$ there exist $P, W \in e\gamma O(Z)$ so that $z_1 \in P, z_2 \in W, z_2 \notin P$ and $z_1 \notin W$.

(3) $e\text{-}\gamma\text{-}T_2\text{-space}$ if for each $z_1, z_2 \in Z$ when $z_1 \neq z_2$ there exist $P, U \in e\gamma O(Z)$ so that $z_1 \in P, z_2 \in W$ and $(P \cap W) = \emptyset$.

Definition 1.6. ([4]) (Z, ω) is said to be

(1) $T_1\text{-space}$ if for each $z_1, z_2 \in Z$ when $z_1 \neq z_2$ there exist $P, U \in \omega$ so that $z_1 \in P, z_2 \in W, z_2 \notin P$ and $z_1 \notin W$.

(2) $T_2\text{-space}$ if for each $z_1, z_2 \in Z$ when $z_1 \neq z_2$ there exist $P, W \in \omega$ so that $z_1 \in P, z_2 \in W$ and $(P \cap W) = \emptyset$.

Definition 1.7. ([1]) $f: (Z, \omega, \gamma) \rightarrow (X, \varpi, \delta)$ is said to be an $e(\gamma, \delta)\text{-continuous}$ function if for each $z \in Z$ and each $V \in e\delta O(X) (f(z) \in V)$, there is an $P \in e\gamma O(Z) (z \in P)$ such that $f(P) \subseteq V$.

Of course, (X, ϖ, δ) is an operation space such that (X, ϖ) be any space and δ be a operation which is defined on the topology ϖ . The family of all closed sets of (X, ϖ) will be indicated by ϖ^t .

In this study, $e\text{-}\gamma\text{-irresolute}$ function will be used instead of the concept $e(\gamma, \delta)\text{-continuous}$.

2. E- γ -IRRESOLUTE FUNCTIONS, E- γ -CONTINUOUS FUNCTIONS AND E- γ -CLOSED GRAPHS

This section is consisted of three parts. In the first part, we obtain some properties of $e\text{-}\gamma\text{-irresolute}$ functions. In the second part, we introduce the concept of an $e\text{-}\gamma\text{-continuous}$ functions. In the last part, we defined the notion of $e\text{-}\gamma\text{-closed}$ graph functions and give a characterization and some fundamental properties.

Definition 2.1. For G be a subset of (Z, ω, γ) , $e\text{-}\gamma\text{-ker}(G) = \bigcap \{P \subseteq Z : P \in e\gamma O(Z), G \subseteq P\} \subseteq Z$ is called $e\text{-}\gamma\text{-kernel}$ of G .

Theorem 2.2. In any operation space (Z, ω, γ) , $y \in e\text{-}\gamma\text{-ker}(\{z\})$ iff $z \in e\gamma\text{-ker}(\{y\})$.

Proof. Sufficiency. Let $y \notin e\text{-}\gamma\text{-ker}(\{z\})$. Then, there exists a $P \in e\gamma O(Z)$ so that $z \in P$ and $y \notin P$. Therefore, $z \notin e\text{-}\gamma\text{-ker}(\{y\})$.

Necessity. This proof is obtained similarly the proof of sufficiency.

Definition 2.3. A subset G of (Z, ω, γ) is called an e - γ -neighborhood of a point $z \in Z$ if there exists a $P \in \epsilon\gamma O(Z)$ so that $z \in P \subseteq G$.

Theorem 2.4. For a subset G of (Z, ω, γ) , then e - γ -ker(G) = $\{z \in Z : e$ - γ -ker($\{z\}) \cap G \neq \emptyset\}$.

Proof. Let $z \in e$ - γ -ker(G) and assume that e - γ -ker($\{z\}) \cap G = \emptyset$. So, $z \notin (Z - e$ - γ -ker($\{z\}))$ so that $(Z - e$ - γ -ker($\{z\})) \in \epsilon\gamma O(Z)$ and $G \subseteq (Z - e$ - γ -ker($\{z\}))$ from Definition 1.1. Since $z \in e$ - γ -ker(G), this is impossible. Hence e - γ -ker($\{z\}) \cap G \neq \emptyset$ and e - γ -ker(G) $\subseteq \{z \in Z : e$ - γ -ker($\{z\}) \cap G \neq \emptyset\}$.

Conversely, let $z \in Z$ and e - γ -ker($\{z\}) \cap G \neq \emptyset$. Assume that $z \notin e$ - γ -ker(G). Then there exists a $P \in \epsilon\gamma O(Z)$ so that $G \subseteq P$ and $z \notin P$. From hypothesis, let $y \in [e$ - γ -ker($\{z\}) \cap G]$. Hence V is an e - γ -neighborhood of y so that $z \notin V$. So, this is contradiction and $z \in e$ - γ -ker(G). Hence, $\{z \in Z : e$ - γ -ker($\{z\}) \cap G \neq \emptyset\} \subseteq e$ - γ -ker(G).

Eventually, e - γ -ker(G) = $\{z \in Z : e$ - γ -ker($\{z\}) \cap G \neq \emptyset\}$ is hold.

Definition 2.5. A subset G of (Z, ω, γ) is called an e - γ -D-set if there are two e - γ -op. sets P and W such that $P \neq Z$ and $G = (P - W)$.

Proposition 2.6. In an operation space (Z, ω, γ) if a singleton $\{z\}$ is an e - γ -D-set, then e - γ -ker($\{z\}) \neq Z$.

Proof. Since $\{z\}$ is an e - γ -D-set of Z , there exist $P, W \in \epsilon\gamma O(Z)$ so that $P \neq Z$ and $\{z\} = (P - W)$. Hence e - γ -ker($\{z\}) \subseteq P \neq Z$ and so e - γ -ker($\{z\}) \neq Z$.

Theorem 2.7. If $f : (Z, \omega, \gamma) \rightarrow (X, \varpi, \delta)$ is an e - γ -irresolute surjective function and $H \subseteq X$ is an e - δ -D-set, $f^{-1}(H) \subseteq Z$ is an e - γ -D-set.

Proof. Let $H \subseteq X$ be an e - δ -D-set. So, there are $S, V \in e\delta O(X)$ so that $S \neq X$ and $W = (S - V)$. As f is an e - γ -irresolute, $f^{-1}(S), f^{-1}(V) \in \epsilon\gamma O(Z)$ by using Definition 1.7. Also since $S \neq X$ and f is surjective, $f^{-1}(S) \neq Z$. Therefore, $f^{-1}(H) = (f^{-1}(S) - f^{-1}(V))$ and $f^{-1}(H) \subseteq Z$ is an e - γ -D-set.

Definition 2.8. A function $f : (Z, \omega, \gamma) \rightarrow (X, \varpi)$ is called an e - γ -continuous function if $f^{-1}(S) \subseteq Z$ is an e - γ -cl., for each $S \subseteq X$ is open.

Theorem 2.9. For a function $f : (Z, \omega, \gamma) \rightarrow (X, \varpi)$, the next properties are equivalent:

- (1) f is an e - γ -continuous;
- (2) $f^{-1}(R) \subseteq Z$ is an e - γ -cl., for each $R \in \varpi^t$;
- (3) $f(e$ - γ -clo(G)) \subseteq clo($f(G)$), for each $G \subseteq Z$;
- (4) e - γ -clo($f^{-1}(H)$) \subseteq f^{-1} (clo(H)), for each $H \subseteq X$.

Proof. (1) \Rightarrow (2) This proof is clear.

(3) \Rightarrow (4) Let $H \subseteq X$. Then, by using (3) $f(e$ - γ -clo($f^{-1}(H))) \subseteq$ clo($f(f^{-1}(H))$) \subseteq clo(H). Therefore, e - γ -clo($f^{-1}(H)) \subseteq f^{-1}$ (clo(H)).

(4) \Rightarrow (3) Let $H=f(G)$, for $G\subseteq Z$. Then, according to (4) $e-\gamma\text{-clo}(f^{-1}(f(G)))\subseteq f^{-1}(\text{clo}(f(G)))$. Eventually, $f(e-\gamma\text{-clo}(G))\subseteq \text{clo}(f(G))$.

(2) \Rightarrow (4) Let $H\subseteq X$. As $f^{-1}(\text{clo}(H))\subseteq Z$ is an $e-\gamma\text{-cl}$, $f^{-1}(H)\subseteq f^{-1}(\text{clo}(H))$ by using Lemma 1.4. Therefore, $e-\gamma\text{-clo}(f^{-1}(H))\subseteq e-\gamma\text{-clo}(f^{-1}(\text{clo}(H)))=f^{-1}(\text{clo}(H))$ and $e-\gamma\text{-clo}(f^{-1}(H))\subseteq f^{-1}(\text{clo}(H))$.

(4) \Rightarrow (2) Let $R\in\mathfrak{t}$. Using (4), $e-\gamma\text{-clo}(f^{-1}(R))\subseteq f^{-1}(\text{clo}(R))=f^{-1}(R)$. Therefore, $f^{-1}(R)\subseteq Z$ is an $e-\gamma\text{-cl}$. and hence f is an $e-\gamma$ -continuous.

Theorem 2.10. If $f:(Z,\omega,\gamma)\rightarrow(X,\mathfrak{t})$ is an $e-\gamma$ -continuous injective function and (X,\mathfrak{t}) is T_2 -space, then (Z,ω,γ) is an $e-\gamma-T_2$.

Proof. Let $z_1, z_2\in Z$ when $z_1\neq z_2$. According to hypothesis since f is injective $f(z_1), f(z_2)\in X$ so that $f(z_1)\neq f(z_2)$. Since (X,\mathfrak{t}) is T_2 -space, using Definition 1.6(2) there exist $S, V\in\mathfrak{t}$ so that $f(z_1)\in S$, $f(z_2)\in V$ and $S\cap V=\emptyset$. As f is an $e-\gamma$ -continuous function $f^{-1}(S), f^{-1}(V)\in e\gamma O(Z)$ so that $z_1\in f^{-1}(S)$ and $z_2\in f^{-1}(V)$. So, $f^{-1}(S)\cap f^{-1}(V)=f^{-1}(S\cap V)=f^{-1}(\emptyset)=\emptyset$ and $f^{-1}(S\cap V)=\emptyset$. Therefore, (Z,ω,γ) is an $e-\gamma-T_2$ from Definition 1.5(3).

Definition 2.11. For a function $f:(Z,\omega,\gamma)\rightarrow(X,\mathfrak{t})$, the graph $G(f)=\{(z, f(z)): z\in Z\}$ is called $e-\gamma$ -closed if for each $(z, x)\notin G(f)$, there exist a $P\in e\gamma O(Z)$ and a $V\in\mathfrak{t}$ so that $z\in P$, $x\in V$ and $(P\times V)\cap G(f)=\emptyset$.

Lemma 2.12. The function $f:(Z,\omega,\gamma)\rightarrow(X,\mathfrak{t})$ has an $e-\gamma$ -closed graph iff for each $z\in Z$ and $x\in X$ when $x\neq f(z)$ there exist a $P\in e\gamma O(Z)$ and a $V\in\mathfrak{t}$ so that $z\in P$, $x\in V$ and $f(P)\cap V=\emptyset$.

Theorem 2.13. If $f:(Z,\omega,\gamma)\rightarrow(X,\mathfrak{t})$ is an injective function with $e-\gamma$ -closed graph, then (Z,ω,γ) is an $e-\gamma-T_1$.

Proof. Let $z_1, z_2\in Z$ when $z_1\neq z_2$. As f is injective, then $f(z_1)\neq f(z_2)$. Since f has an $e-\gamma$ -closed graph there exist a $P\in e\gamma O(Z)$ and a $V\in\mathfrak{t}$ such that $z_1\in P$, $f(z_2)\in V$ and $f(P)\cap V=\emptyset$. So, $z_2\notin P$ and hence (Z,ω,γ) is an $e-\gamma-T_1$ using Definition 1.5(2).

Theorem 2.14. If $f:(Z,\omega,\gamma)\rightarrow(X,\mathfrak{t})$ is an injective $e-\gamma$ -continuous function with $e-\gamma$ -closed graph, then (Z,ω,γ) is an $e-\gamma-T_2$.

Proof. Let $z_1, z_2\in Z$ when $z_1\neq z_2$. As f is injective, then $f(z_1)\neq f(z_2)$ and $(z_1, f(z_2))\in [(Z\times Y)-G_f]$. Since the graph G_f is an $e-\gamma$ -closed, a $P\in e\gamma O(Z)$ and a $V\in\mathfrak{t}$ so that $z_1\in P$, $f(z_2)\in V$ and $f(P)\cap V=\emptyset$. As f is an $e-\gamma$ -continuous, $f^{-1}(V)\in e\gamma O(Z)$ so that $z_2\in f^{-1}(V)$ and $P\cap f^{-1}(V)=\emptyset$. Therefore, (Z,ω,γ) is an $e-\gamma-T_2$ by using Definition 1.5(3).

Theorem 2.15. If $f:(Z,\omega,\gamma)\rightarrow(X,\mathfrak{t})$ is a surjective function with $e-\gamma$ -closed graph, then (X,\mathfrak{t}) is a T_1 -space.

Proof. Let $x_1, x_2\in X$ when $x_1\neq x_2$. Since f is surjective, there exists $z\in Z$ so that $f(z)=x_2$ and hence $(z, x_1)\notin G_f$. From Lemma 2.12, there exist a $P\in e\gamma O(Z)$ and a $V\in\mathfrak{t}$ so that $z\in P$, $x_1\in V$ and $f(P)\cap V=\emptyset$. So, $f(z)=x_2\notin V$ and (X,\mathfrak{t}) is a T_1 -space from Definition 1.6(1).

3. RESULTS AND DISCUSSION

The notion of operation topological spaces is one of the most important subjects. So, it is studied densely several authors. We focus on three functions which names are e - γ -irresolute, e - γ -continuous and e - γ -closed graph for the concept of e - γ -open sets. Besides, we introduce the concept of e - γ -D-sets and obtain some properties related to it.

Our future plan will focus on separation axioms by using e - γ -D-sets. For them, we will examine these axioms under the three functions we focus on in this study.

REFERENCES

- [1] Horoz, H. A., *Topolojik Uzaylarda e - γ -açık Kümeler Ailesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selcuk University, Institute of Sciences, Konya, 2024.
- [2] Kasahara, S., Operation Compact Spaces, *Mathematica Japonica*, 24,1, 1979, 97-105.
- [3] Krisnan G. S. S., A New Class of semi open sets in a topological space, *Proc. Ncncm*, Allied Publishers, New Delhi, 2003, 305-311.
- [4] Kuratowski, K., *Topology*, Vol. I, Academic Press, New York, 1966.
- [5] Ogata, H., Operation on topological spaces and associated topology, *Mathematica Japonica*, 36,1, 1991, 175-184.

PROJEKTİF DÜZLEMDE LİNEER BEZİER EĞRİLERİ

Doç. Dr. Muhsin İNCESU

Muş Alparslan Üniversitesi, Eğitim Fakültesi

m.incesu@alparslan.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0003-2515-9627>

ÖZET

Projektif düzlem elde etmenin bir yöntemi olarak verilen bir Afin düzleme ideal nokta adı verilen sonsuzda noktalar ilave edilmesi ile bir afin düzlemin kapanışının elde edilmesi yöntemidir. Buna göre afin düzlemdeki her bir doğruya sonsuzda bir nokta karşılık getirilmekte; Paralel doğrulara ise ancak bir ortak ideal nokta karşılık getirilmez. Bu şekilde sonsuzdaki noktalar ilave edilerek verilen bir Afin düzlemin kapanışı elde edilmektedir. Projektif düzlem aksiyomlarına göre bu elde edilen kapanış uzayı bir projektif düzlem ifade etmektedir. Bu çalışmada bir afin düzlemin kapanışı olarak alınan bir kümede tanımlanacak ve başlangıç olarak lineer Bezier eğrileri incelenmiş, bu eğrilerin reel projektif düzlem olarak bildiğimiz 3- boyutlu uzaydaki orjinden geçen doğruların kümesi üzerindeki karşılıkları üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: En Az 3 Anahtar Kelime yazılması gerekmektedir.

THE LINEAR BEZIER CURVES IN PROJECTIVE PLANE

ABSTRACT

One method of obtaining a projective plane is to obtain the closure of an affine plane by adding points at infinity called ideal points to a given affine plane. Accordingly, each line in the affine plane corresponds to a point at infinity; only one common ideal point corresponds to parallel lines. In this way, the closure of a given affine plane is obtained by adding points at infinity. According to the projective plane axioms, this obtained closure space is a projective plane. In this study, linear Bezier curves are examined as a starting point and the correspondences of these curves on the set of lines passing through the origin in the 3-dimensional space known as the real projective plane are emphasized.

Keywords : Affine plane, Projective plane, Bezier curves

1. GİRİŞ

Bilgisayar destekli tasarımlarda Bezier eğrilerinin, en kararlı çözümleri veren polinom eğriler olmaları nedeniyle bu eğrilerle ilgili çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Bunlara örnek olarak G. Farin (1990), R. Farouki (1985), J.Hoschek (1985), H. Potmann (1995), Incesu (2003, 2004), Samancı H., Çelik S, Incesu M (2015), Samancı H (2018, 2021), Samancı H ve İncesu M (2020), Ören ve İncesu (2020), çalışmaları verilebilir.

Bir Afin düzleme ideal nokta adı verilen sonsuzda noktalar ilave edilmesiyle bir afin düzlemin kapanışı elde edilebilir. Bu kapanış bir Projektif düzlemdir. Bu kapanışın elde edilmesinde her doğruya sonsuzda bir nokta karşılık getirilmektedir. Ancak paralel doğrulara tek ortak nokta karşılık getirilmektedir. Yani bu karşılıklara göre tüm paralel doğrular sonsuzda karşılık getirilen noktada kesişirler. Bu çalışmada bir afin düzlemin kapanışı olarak alınan bir kümede tanımlanacak lineer Bezier eğrileri incelenmiştir. Daha görünür olması için bu eğrilerin reel projektif düzlemde karşılıkları üzerinde durulmuştur.

Afin Uzay ve Afin Düzlem

Tanım : $A \neq \emptyset$ bir küme, V ise K cismi üzerinde bir vektör uzayı olsun. Aşağıdaki önermeleri doğrulayan bir

$$f: A \times A \rightarrow V$$

fonksiyonu varsa A, V ile birleştirilmiş bir afin uzaydır denir:

$$A1) \forall P, Q, R \in A \text{ için } f(P, Q) + f(Q, R) = f(P, R) \text{ dır.}$$

A2) $\forall P \in A$ ve $\forall \alpha \in V$ için $f(P, Q) = \alpha$ olacak biçimde bir tek $Q \in A$ vardır. (Hacısalıhoğlu,1983)

Tanım : A afin uzayda $\{P_0, P_1, \dots, P_n\}$ nokta $n+1$ lisi verilsin. Eğer A ya karşılık gelen vektör uzayında $\{\overrightarrow{P_0P_1}, \overrightarrow{P_0P_2}, \dots, \overrightarrow{P_0P_n}\}$ vektör n lisi bir çatı oluşturuyorsa A daki $\{P_0, P_1, \dots, P_n\}$ nokta $n+1$ lisine A nın bir afin çatısı denir. (Hacısalıhoğlu,1983)

Önerme : A bir afin uzay ve V de bu afin uzaya birleşen vektör uzayı olsun. Bu takdirde A nın boyutu V nin boyutuna eşittir.

Şimdi boyutu 2 olan bir afin uzay alalım. Bu afin uzaya bir Afin düzlem adını vereceğiz.

Önerme: A bir afin düzlem olsun. Bu takdirde A şu özellikleri sağlar:

A-1 $P, Q \in A$ iki farklı nokta olsun A da P ve Q yu içeren tek ve bir tek ℓ doğrusu vardır

A-2 Bir $\ell \subset A$ doğrusu ve $P \in A (P \notin \ell)$ verildiğinde ℓ -ye paralel ve P -den geçen tek ve bir tek m doğrusu vardır.

A-3 Doğrudaş olmayan en az üç nokta vardır. (P_1, P_2, P_3 noktalarına doğrudaş denir eğer hepsi aynı doğru üzerinde ise.) (Hartshorne, 1967)

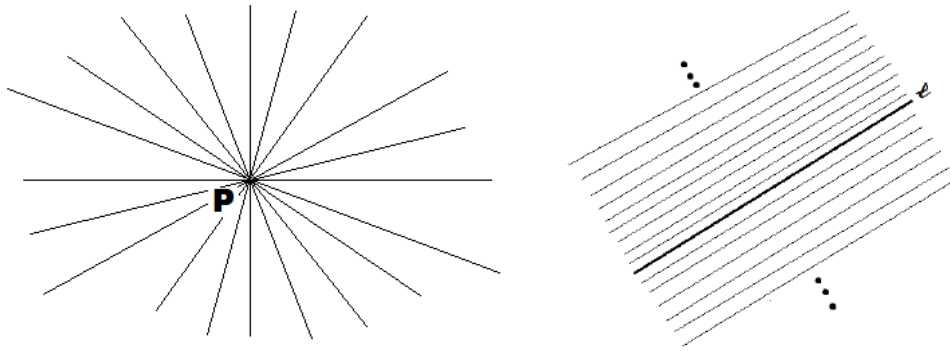
Sonuç : Bir afin düzlem en az 4 nokta içerir. (Hartshorne, 1967)

Tanım : A afin düzlemde ℓ ve m iki doğru olsun. Eğer $\ell = m$ veya $\ell \cap m = \emptyset$ ise ℓ ve m doğrularına **paralel** iki doğru denir. (Hartshorne, 1967)

Önerme : Afin düzlemde doğruların Parallellik bağıntısı bir **denklik** bağıntısıdır. (Hartshorne, 1967).

Önerme : Afin düzlemde Paralel olmayan iki doğrunun ancak bir tek ortak noktası vardır. (Hartshorne, 1967).

Tanım : Düzlemde doğruların bir demeti demek, bir P noktasından geçen doğrular ya da verilen bir ℓ doğrusuna paralel olan tüm doğrular demektir. (Hartshorne, 1967)



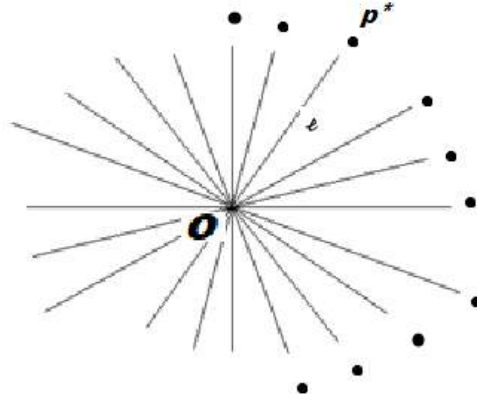
- a) P noktasından geçen doğruların demeti b) verilen bir ℓ doğrusuna paralel doğruların
denklik sınıfı olan $[\ell]$ doğru demeti

Görsel 1. Doğru demetleri

İdeal Noktalar ve Projektif Düzlemin İnşası

A afin düzlem verilsin. Şimdi bu verilen afin düzleme sonsuzda bir takım noktalar ilave edilerek afin düzlemin bir anlamda kapanışıyla projektif düzlemi elde edeceğiz.

A nın her bir ℓ doğrusu için ℓ doğrusuna paralel olan doğru demeti bir denklik sınıfı olacağından bu demeti $[\ell]$ ile göstereceğiz. Her bir $[\ell]$ demetine, ℓ yönünde ‘ideal nokta’ yada ‘sonsuzda bir nokta’ diye adlandıracağımız bir nokta ilave edeceğiz ve bu noktayı P^* , Q^* , ... gibi sembollerle göstereceğiz. $P^* = [\ell]$ biçiminde yazacağız. Yani her bir doğruya bir ideal nokta ilave ediliyor ancak tüm birbirine paralel olan doğrulara tek bir ideal nokta ilave edilmektedir. Her bir $[\ell]$ demetini yani denklik sınıfını temsilen orjinden geçen ℓ doğrusunu alır ve bu demete sonsuzda ilave edilen ideal noktayı da ℓ doğrusunun sonuna ekleyecek olursak, tüm ideal nokta ilavelerini aşağıdaki gibi sembolik olarak gösterebiliriz:



Görsel 2. Afin düzleme İdeal noktaların eklenmesi

Böylece A nın doğrularına ideal noktalar ilave edilerek A nın kapanışını elde etmiş olacağız. Bu yeni kümeyi S ile gösterirsek, S nin noktaları A nın noktaları ile A nın tüm ideal noktalarının birleşimidir. Böylece, S deki her bir L doğrusu ,

- A nın bir ℓ doğrusu ile bu ℓ doğrusunun ideal noktası $[\ell] = P^*$ in toplamıdır. Ya da
- A nın tüm ideal noktalarından oluşan ‘Sonsuzluk doğrusu ’ nu içerir.

(Hartshorne, 1967)

Tanım : (Projektif Düzlem):

S noktalardan oluşan bir küme ve onun doğrulardan oluşan alt kümeleri Şu 4 axiomu sağlarsa S -ye projektif düzlem denir:

- S -nin iki farklı P ve Q noktaları ancak ve ancak bir tek doğru üzerinde ise.
- L_1 ve L_2 herhangi iki doğru , en az bir noktada kesişiyorsa .
- En az üç doğrudaş olmayan nokta varsa.
- Her doğru en az üç nokta içeriyorsa.

(Hartshorne, 1967)

Önerme : A afin düzlemin kapanışı S bir projektif düzlemdir .

İspat: Bkz.(Şimşek, 2024)

Reel Projektif Düzlem

R^3 sıradan üç boyutlu Öklid uzayı olsun. \tilde{L} , R^3 ün O başlangıç noktasından geçen tüm doğrularının kümesi olsun. \tilde{L} nin bir noktası, R^3 ün O başlangıç noktasından geçen bir doğrusu olarak tanımlanır. Aynı şekilde \tilde{L} nin bir doğrusu olarak da, R^3 ün O başlangıç noktasından geçen doğrularının bir koleksiyonu olarak tanımlanırsa \tilde{L} bir projektif düzlem oluşturur. Bu kümeyi homojen koordinatlar yardımıyla aşağıdaki gibi analitik olarak ifade edebiliriz:

\tilde{L} nin bir noktası O başlangıç noktasından geçen doğru olduğundan bu noktayı P ile gösterirsek P noktası bir ℓ doğrusudur. Her ℓ doğrusunu, doğru üzerinde (0,0,0) dan farklı bir (x_1, x_2, x_3) noktası seçerek göstereceğiz. Buradaki (x_1, x_2, x_3) noktaları P noktasının homojen koordinatlarını ifade edecektir. ℓ üzerindeki başka bir nokta $(\lambda x_1, \lambda x_2, \lambda x_3)$ dir. ($\lambda \in R, \lambda \neq 0$). Böylece \tilde{L} , (x_1, x_2, x_3) şeklindeki üçlülerden oluşur öyle ki, x_1, x_2, x_3 lerin hepsi birden aynı anda sıfır olmaz ve herhangi iki üçlü $P = (x_1, x_2, x_3)$ ve $Q = (x_1', x_2', x_3')$ aynı noktayı ifade eder ancak ve ancak P ve Q lineer bağımlı ise ya da $\exists \lambda \in R$ öyleki $x_i' = \lambda x_i$ dir. ($i = 1,2,3$).

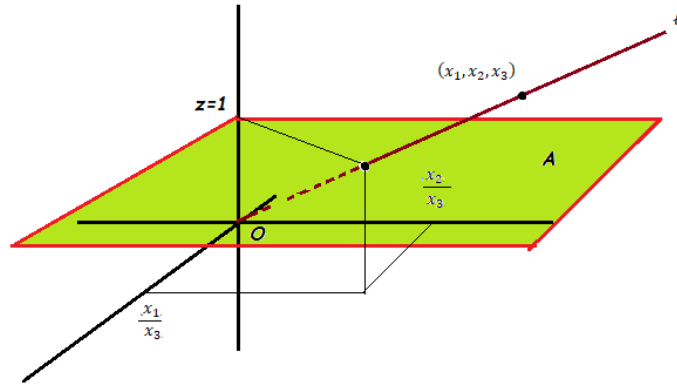
R^3 te O başlangıç noktasından geçen bir düzlemin denklemi

$$a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 = 0$$

dir ve a_i lerin hepsi birden sıfır olmaz. Görülecektir ki bu denklem \tilde{L} nin bir doğrusunun denklemidir.

Tanım : S ve S' iki projektif düzlem olsun. Eğer bir $T: S \rightarrow S'$ birebir dönüşümü doğrudan noktaları yine doğrudan noktalara resmedecek şekilde bulunabilirse S ve S' projektif düzlemlerine **İzomorfik** denir. (Hartshorne, 1967)

Önerme : Homojen koordinatlar yardımıyla yukarıdaki gibi tanımlanan \tilde{L} projektif düzlemi, Öklid geometride Sıradan afin düzlemin kapanışı olarak elde edilen S Projektif düzlemine izomorfiktir. (Hartshorne, 1967)



Görsel 3. Reel Projektif Düzlem

2. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Projektif Düzlemde Bezier Eğrileri

Bir A afin düzlemin kapanışı olarak alınan S projektif düzlemini göz önüne alalım. Bu bölümde S projektif düzleminde bir Bezier eğrisi tanıtılacak kontrol noktalarının afin nokta ya da

sonsuzdaki ideal nokta olup olmamasına göre bu eğriler irdelenecek ve reel projektif düzlemde nasıl bir karşılığı oldukları üzerinde durulacaktır.

Lineer Bezier Eğrisi

Kontrol noktaları P_0 ve P_1 olan lineer Bezier eğrisini göz önüne alalım. P_0 ve P_1 noktalarını A afin düzlemin kapanışı olarak ifade ettiğimiz S kümesinden alalım. Burada 3 durum söz konusu olabilir:

İki Afin Kontrol Noktalı Lineer Bezier Eğrisi

i) P_0 ve P_1 A nın iç noktası ya da afin noktalar olsunlar. Bu durumda lineer Bezier eğrisinin $t \in [0,1]$ olmak üzere vektörel ifadesi

$$B(t) = P_0 + t\overrightarrow{P_0P_1}$$

olur. Parametrik karşılığı da klasik olarak

$$B(t) = (1-t)P_0 + tP_1$$

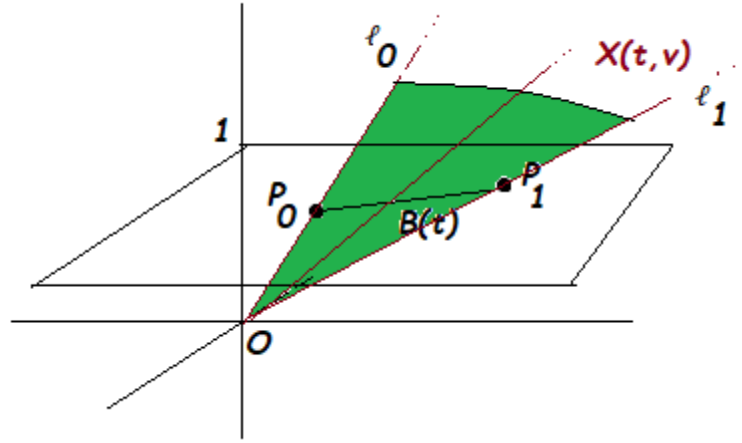
yazılır. Şimdi P_0 ve P_1 noktalarının reel projektif düzlemde karşılıkları sırasıyla ℓ_0 ve ℓ_1 doğruları olarak alınır ve bu doğrular üzerindeki herhangi bir nokta da doğruların temsilcisi olarak alınabileceğinden A afin düzlemdeki $P_i = (P_{i1}, P_{i2})$ noktalarının homojen koordinatı olan $\overline{P}_i = (P_{i1}, P_{i2}, 1)$ noktaları doğruların temsilcisi olarak alınır ve $B(t)$ kuadratik Bezier eğrisinin reel projektif düzlemde karşılığı $B(t)$ Bezier eğrisi

$$\overline{B}(t) = (1-t)\overline{P}_0 + t\overline{P}_1$$

dir. Buradaki \overline{P}_0 ve \overline{P}_1 noktaları ℓ_0 ve ℓ_1 doğrularının birer temsilcisidir. O halde $B(t)$ lineer Bezier eğrisinin reel projektif düzlemde karşılığı $X(t, v)$ düzlemsel bir koni yüzeyidir. Bu yüzeyin R^3 teki denklemi ise

$$X(t, v) = v\overline{B}(t) = v\left[(1-t)\overline{P}_0 + t\overline{P}_1\right]$$

biçimindedir. (Görsel 4)



Görsel 4. P_0 ve P_1 afin nokta olması durumunda lineer Bezier Eğrisi

Bir Afin, Bir İdeal Kontrol Noktalı Lineer Bezier Eğrisi

P_0 , A'nın iç noktası ya da afin nokta; P_1 ise bir ideal nokta olsun. Bu durumda bir ℓ afin doğrusu vardır ki $P_1 = [\ell]$ dir. Bu halde lineer Bezier eğrisi P_0 dan başlayan ve ℓ ye paralel olan ışıdır. Yani, ℓ doğrusunun doğrultmanı \vec{u} ise $t \in \mathbb{R}$ olmak üzere lineer Bezier eğrisinin vektörel ifadesi

$$B(t) = P_0 + t\vec{u}$$

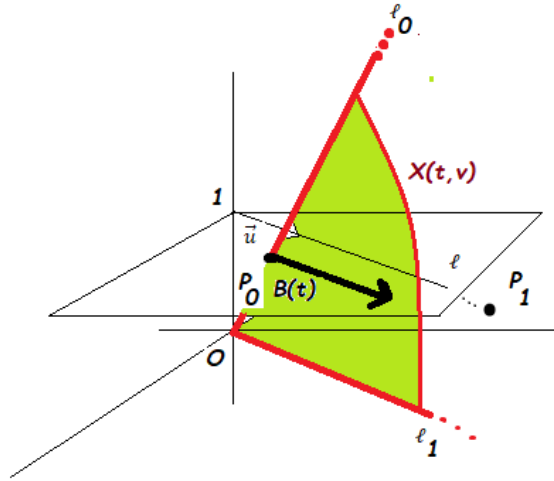
olur. P_0 ve P_1 noktalarının reel projektif düzlemde karşılıklarını sırasıyla L_0 ve L_1 doğruları olarak alınırsa ve bu doğrular üzerindeki herhangi bir nokta da doğruların temsilcisi olarak alınabileceğinden A afin düzlemdeki $P_0 = (P_{01}, P_{02})$ noktasının homojen koordinatı olan $\bar{P}_0 = (P_{01}, P_{02}, 1)$ noktası L_0 doğrusunun temsilcisi olarak alınır; P_1 de bir ideal nokta olduğundan ℓ doğrusunun eğimi $m = \infty$ ise P_1 in reel projektif düzlemdeki karşılığını $\bar{P}_1 = (0, 1, 0)$ noktasından geçen orjin çıkışlı doğru olarak ve temsilcisini de \bar{P}_1 noktası olarak alırsak; eğer ℓ doğrusunun eğimi m, ∞ dan farklı ise P_1 in reel projektif düzlemdeki karşılığını $\bar{P}_1 = (1, m, 0)$ noktasından geçen orjin çıkışlı doğru olarak ve temsilcisini de \bar{P}_1 noktası olarak alırsak; $B(t)$ lineer Bezier eğrisinin reel projektif düzlemde karşılığı $X(t, v)$ düzlemsel bir koni yüzeyidir. Bu yüzeyin \mathbb{R}^3 teki denklemi ise

$$X(t, v) = v\bar{B}(t) = v[(1-t)\bar{P}_0 + t\bar{P}_1]$$

biçimindedir. Burada

$$\bar{B}(t) = (1-t)\bar{P}_0 + t\bar{P}_1$$

dir. Bu ise $X(t, v)$ düzlemsel bir koni yüzeyinin dayanak eğrisi olan bir Bezier eğrisidir. (Görsel 5)



Görsel 5. P_0 afin nokta, P_1 ideal nokta olması durumunda lineer Bezier Eğrisi

İki İdeal Kontrol Noktalı Lineer Bezier Eğrisi

P_0 ve P_1 , S nin sonsuzdaki ideal noktaları olsun. Bu durumda l_0 ve l_1 afin doğruları vardır ki $P_0 = [l_0]$ ve $P_1 = [l_1]$ dir. Bu halde lineer Bezier eğrisi P_0 ve P_1 den geçen sonsuzluk doğrusu üzerindeki doğru parçasıdır. Yani P_0 ve P_1 , S nin elemanları olduğundan lineer Bezier eğrisi

$$B(t) = (1 - t)P_0 + tP_1$$

yazılabilir. Bu eğri afin olmayan sonsuzda bir eğridir. Yani sonsuzluk doğrusunun üzerindedir. Bu eğrinin reel projektif düzlemdeki karşılığı için P_0 ve P_1 noktalarının reel projektif düzlemde karşılıklarını sırasıyla L_0 ve L_1 doğruları olarak alırsak, L_0 ve L_1 doğruları $z = 0$ düzleminde ve sırasıyla l_0 ve l_1 doğrularıyla aynı eğime sahip doğrulardır. l_0 ve l_1 doğrularının eğimleri sırasıyla m_0 ve m_1 ise L_0 ve L_1 doğruları üzerindeki noktalar Q_0 ve Q_1 olmak üzere;

$$m_0 = \infty \text{ ve } m_1 \neq \infty \text{ ise } Q_0 = (0,1,0) \text{ ve } Q_1 = (1, m_1, 0)$$

$$m_0 \neq \infty \text{ ve } m_1 = \infty \text{ ise } Q_0 = (1, m_0, 0) \text{ ve } Q_1 = (0,1,0)$$

$$m_0 \neq \infty \text{ ve } m_1 \neq \infty \text{ ise } Q_0 = (1, m_0, 0) \text{ ve } Q_1 = (1, m_1, 0)$$

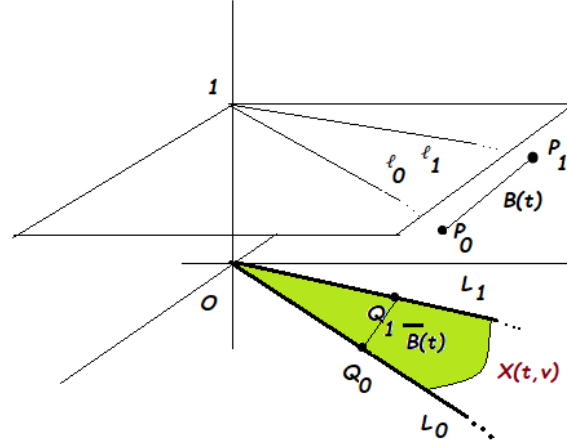
alınabilir. O halde $B(t)$ lineer Bezier eğrisinin reel projektif düzlemde karşılığı $X(t, v)$ düzlemsel bir koni yüzeyidir. Bu yüzeyin dayanak eğrisi $\bar{B}(t)$ Bezier eğrisi

$$\bar{B}(t) = (1 - t)Q_0 + tQ_1$$

dir. Bu yüzeyin R^3 teki denklemi ise

$$X(t, v) = v\bar{B}(t) = v[(1 - t)Q_0 + tQ_1]$$

biçimindedir. (Görsel 6)



Görsel 6. P_0 ve P_1 ideal nokta olması durumunda lineer Bezier Eğrisi

KAYNAKÇA

1. Farin, G. *Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design A Practical Guide*, 2nd edition, Academic Press Inc., San Diago, 1990
2. Farouki, R. Exact offset procedures for simple solids. *Computer Aided Geometric Design*, 2 (4), 257-279, 1985.
3. Hacısalihoğlu, H. H. *İki ve Üç Boyutlu Uzaylarda Dönüşümler ve Geometriler*, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Matematik Bölümü Yayınları, Ankara, 1998.
4. Hoschek, J. Offset curves in the plane, *Computer Aided Design*, 17 (2) , 77-82, 1985.
5. Hartshorne, R. *Foundations of Projective Geometry*, W.A. Benjamin, Inc.. Newyork , 1967
6. İncesu, M. *Bezier Eğrileri, Bezier Yüzeyleri ve Sayısal Algoritmalar*, Yük. Lis. Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2003
7. İncesu, M. ve Gursoy, O. *Bezier Yüzeylerinde Esas Formlar ve eğrilikler*, XVII Ulusal Matematik Sempozyumu, 146-157, Bolu, 2004.
8. Ören, İ., ve İncesu, M. Recognition of complex polynomial Bezier curves under similarity transformations, *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A1 Mathematics and Statistics*, 69(2), 1377-1388, 2020.
9. Potmann, H. Rational curves and surfaces with rational offsets, *Computer Aided Geometric Design*, 12, 175-192, 1995.
10. Samancı, H. K., Celik, S. ve İncesu, M. The Bishop frame of Bézier curves. *Life Sci. J*, 12(6), 175-180, 2015.

11. Samancı, H. K., Incesu, M. Investigating a quadratic Bezier curve due to NCW and N-Bishop frames. Turkish Journal of Mathematics and Computer Science, 12(2), 120-127, 2020.
12. Samanci, H. K. The Serret Frenet Frame of the Rational Bezier Curves in the Euclidean -3 Space by Algorithm Method, Journal of Science & Arts, 21(3),721- 748, 2021.
13. Şimşek, M. *Projektif Düzlemde Bezier Eğrileri*, Yük. Lis. Tezi, Muş Alparslan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muş, 2024

BAKIR OKSİT İÇEREN BİYOAKTİF CAM PARTİKÜLLERİNİN SOL-JEL YÖNTEMİ İLE HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU

Prof. Dr. Aylin M. DELİORMANLI

Manisa Celal Bayar Üniversitesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

aylin.deliormanli@cbu.edu.tr

ORCID ID:0000-0001-7877-7635

ÖZET

Biyoaktif camlar yumuşak ve sert doku mühendisliği uygulamalarında ayrıca diş hekimliğinde kullanılan yenilikçi biyomalzemelerdir. Bu çalışmada yumuşak doku yaralanmalarının ve gastrointestinal sistem rahatsızlıklarının tedavisinde kullanılmak üzere bakır (II) oksit içeren (ağırlıkça %1, 3, 5) silikat bazlı 13-93 biyoaktif cam partikülleri sol-jel yöntemi ile sentezlenmiş ve hazırlanan tozlar 625 °C'de 4 saat kalsine edilmiştir. Sentezlenen tozların yapısal özellikleri, yapay vücut sıvısı (SBF) ve fosfat tamponlu salin (PBS) solüsyonu içerisindeki biyoaktivitesi X-ışınları difraksiyonu (XRD) ve Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometre (FTIR) incelenmiş ayrıca yapay mide sıvısında (SGF) bekletilen örneklerin neden olduğu pH değişimi gözlenmiştir. Sonuçlar, çalışma kapsamında sentezlenen biyoaktif cam tozlarının amorf yapıda olduğunu ve ortalama tane boyutunun 3.70 ile 4.60 µm aralığında olduğunu göstermektedir. SBF ve PBS içerisinde 7, 14 ve 28 gün bekletilen biyoaktif cam tozlarının yüzeyinde hidroksiapatit (HA) oluşumu gerçekleştiği tespit edilmiştir. In vitro biyoaktivite çalışmalarının sonuçlarına göre, bakır (II) oksit ilavesinin HA oluşumunu indüklediği ve fizyolojik sıvılar içerisinde bekletilen tüm örneklerin yüzeyinde 7 günden itibaren HA oluştuğu anlaşılmıştır. İçerisinde biyoaktif cam tozları bekletilen SBF, PBS ve SGF'nin pH değerlerinde zamana bağlı artış olduğu tespit edilmiştir. İçerisinde biyoaktif cam partikülleri bekletilen fizyolojik sıvılar içerisinde pH değerlerindeki en yüksek artışın PBS'de olduğu anlaşılmış, 5%Cu²⁺ içeren biyoaktif cam tozlarının, katkısız cam partiküllerine göre SGF'nin pH değerini daha hızlı yükselttiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyoaktif cam, bakır (II) oksit, sol-jel, yumuşak doku mühendisliği, gastrointestinal sistem.

1. GİRİŞ

Biyoaktif camlar, doku mühendisliği ve diş hekimliği uygulamalarında başarıyla kullanılan, biyouyumlu, biyolojik olarak parçalanabilir, çok işlevli inorganik cam malzeme sınıfıdır. Biyoaktif camların osteojenik özellikler göstermesinin yanı sıra anjiyojenik ve antibakteriyel olduğu da bilinmektedir. İlk kez Hench vd tarafından 1971 yılında geliştirilen 45S5 bioglass® kodlu cam, silikat bazlı bir biyomalzemedir. Biyoaktif camlar yüksek osteointegrasyon yeteneğine sahip olup, 45S5 bioglass® ($\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$), 70S30C ($\text{CaO}-\text{SiO}_2$) ve bunun dışında farklı kompozisyonlarda üretilebilirler [1-5]. Bunun yanında biyoaktif cam kompozisyonları düşük miktarlarda demir, gümüş, potasyum ya da çinko gibi farklı terapötik elementler de içerebilir [6].

Kemik doku mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılan biyoaktif camların yumuşak doku onarımı veya rejenerasyon mekanizmaları hakkında literatürde yayınlanmış çalışmalar bulunmaktadır [7, 8]. Ma vd. [9] tarafından yapılan bir çalışma, biyoaktif camın çözünme ürününün, etanol ile hasar görmüş GES-1 insan mide mukoza epitel hücrelerinin 48 ve 72 saat sonra çoğalmasını hızlandırdığını göstermiştir. Biyoaktif camlar fizyolojik ortam ile temas ettiğinde, sıvıdaki hidrojen ile camdaki sodyum arasındaki iyon değişimi tetiklenmektedir. Bu durum, mide pH'sının artmasına ve biyoaktif camların lokal anti-asit olarak davranmasına neden olabilir. Kalsiyum ve silikon gibi iyonlar biyoaktif camdan çevre dokuya salınmakta ve silikaca zengin poroz bir tabaka oluşturmakta, ardından cam yüzeyinde HA oluşumu gerçekleşmektedir. Ayrıca, bu silikaca zengin tabaka ve HA tabakası, cam yüzeyinde yara yüzeyine bağlanmak için büyük bağlama siteleri oluşturmaktadır [7]. Bu durum ülser oluşumuna karşı bir bariyer ve ülserojenler tarafından daha fazla hasara karşı koruyan bir koruyucu tabaka oluşturabilir.

Diğer yandan bazı terapötik elementlerin yara iyileşmesi ve peptik ülser tedavisinde kullanıldığı bilinmektedir. Bu terapötik elementleri içeren biyoaktif camların gastrointestinal sistem rahatsızlıklarının tedavisinde daha etkin bir rol oynaması söz konusudur. Literatürde, yara iyileşmesinde etkili bir ajan olan Cu^{2+} katkılı biyoaktif camların yumuşak doku mühendisliği uygulamaları üzerine de çalışmalar bulunmaktadır [10-13]. Bu nedenle, Cu^{2+} katkılı biyoaktif camlar, gastrointestinal sistem hastalıklarının tedavisinde umut verici bir potansiyele sahip olabilir. Bakırın anti-enflamatuar, antibakteriyel ve anjiyojenik özellikleri, bu malzemelerin mide ülseri tedavisindeki etkinliğini arttıracığı düşünülmektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Biyoaktif Cam Sentezi

Çalışma kapsamında CuO katkılı silikat bazlı 13-93 biyoaktif cam ($6\text{Na}_2\text{O}$, $12\text{K}_2\text{O}$, 5MgO , 20CaO , $4\text{P}_2\text{O}_5$, 53SiO_2 ; ağırlıkça %) tozları sol-jel yöntemi ile sentezlenmiştir [14]. Silikat bazlı 13-93 camların sentezi için başlangıç malzemeleri olarak tetraetil ortosilikat, trietil fosfat, sodyum nitrat, potasyum nitrat, magnezyum nitrat hegzahidrat, kalsiyum nitrat tetrahidrat (Sigma-Aldrich, Almanya) kullanılmıştır. Cu^{2+} -içeren biyoaktif camların sentezinde ek olarak bakır (II) nitrat trihidrat (Sigma-Aldrich, Almanya) kullanılmış olup, biyoaktif camlar 1, 3, 5% ağırlıkça CuO içerecek şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan cam solüsyonları oda sıcaklığında bekletilerek jelleşme sağlanmış ardından $60\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta 24 saat yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Bunu $60\text{ }^\circ\text{C}$ ' de kurutma işlemi takip etmiş, ardından kurutulmuş jeller hava ortamında $625\text{ }^\circ\text{C}$ ' de 4 saat kalsine edilmiştir. Elde edilen biyoaktif cam parçaları planeter değirmende (Fritsch Planetary Mill) 700 rpm'de 10 dakika öğütülerek boyut küçültme işlemi yapılmıştır. Çalışma kapsamında sentezlenen biyoaktif cam tozlarının kompozisyon bilgileri Çizelge 1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Çalışmada sentezlenen biyoaktif cam tozlarının kompozisyon bilgisi (ağırlıkça%).

Kod	SiO ₂	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	CuO
BG	53	20	12	6	5	4	0
1Cu-BG	52	20	12	6	5	4	1
3Cu-BG	50	20	12	6	5	4	3
5Cu-BG	48	20	12	6	5	4	5

2.2. Karakterizasyonlar

Biyoaktif cam tozların tane büyüklüğü, tane boyutu ölçüm cihazı (Malvern, Mastersizer 3000, UK) ile, yapısal özellikleri FTIR-ATR spektrometresi (Thermo Scientific-Nicolet, IS20) ile 525 ile 4000 cm^{-1} dalga boyu aralığında, ve kristalizasyon davranışı X-ışını difraktometre (XRD, Malvern Panalytical Empyrean) kullanılarak incelenmiştir.

In vitro biyoaktivite deneyleri yapay vücut sıvısı (SBF) ve fosfat tamponlu salin solüsyonu (PBS) içerisinde gerçekleştirilmiştir. SBF, Kokuko vd. [15] tarafından belirtilen yöntem göre hazırlanmıştır. PBS hazırlamada NaCl, KCl, Na_2HPO_4 ve KH_2PO_4 kullanılmıştır. Sentezlenen katkısız 13-93 ve Cu^{2+} katkılı 13-93 cam tozları, pH'sı 7.4 olan SBF ve PBS içine konularak (1 gr örnek için 500 ml SBF ya da PBS olacak şekilde) inkübatörde $37\text{ }^\circ\text{C}$ ' de belirli süreler (7, 14, 28 gün) bekletilmiştir. SBF ve PBS'den çıkarılan örneklerin yüzeyinde HA oluşumu FTIR spektroskopisi kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca içerisine örnek konulan SBF, PBS ve yapay

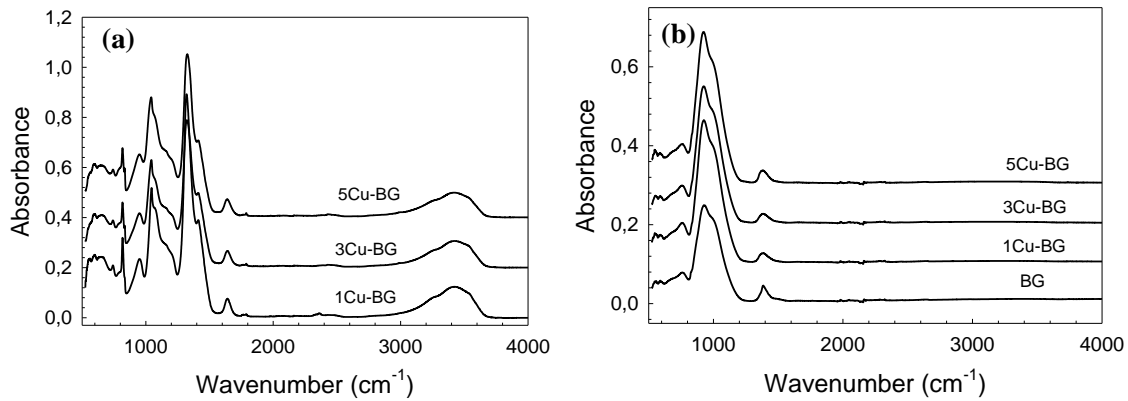
mide sıvısının (SGF, pepsinsiz, NaCl ve HCl ile hazırlanmıştır) pH değişimi 0.01 pH çözünürlüklü bir pH metre (Hanna HI 2211) ile takip edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışmada sol-jel yöntemi ile biyoaktif cam hazırlama sırasında çekilen ve sentez aşamalarını gösteren fotoğraflar Görsel 1’de verilmektedir. Buna göre hazırlanan solların jelleştiği ve kurutma sonrası kserojeller oluştuğu anlaşılmaktadır. Hazırlanan kserojellerin kalsinasyon öncesi ve 625 °C’de yapılan kalsinasyon işlemi sonrasındaki FTIR spektrumları Görsel 2’de gösterilmektedir.



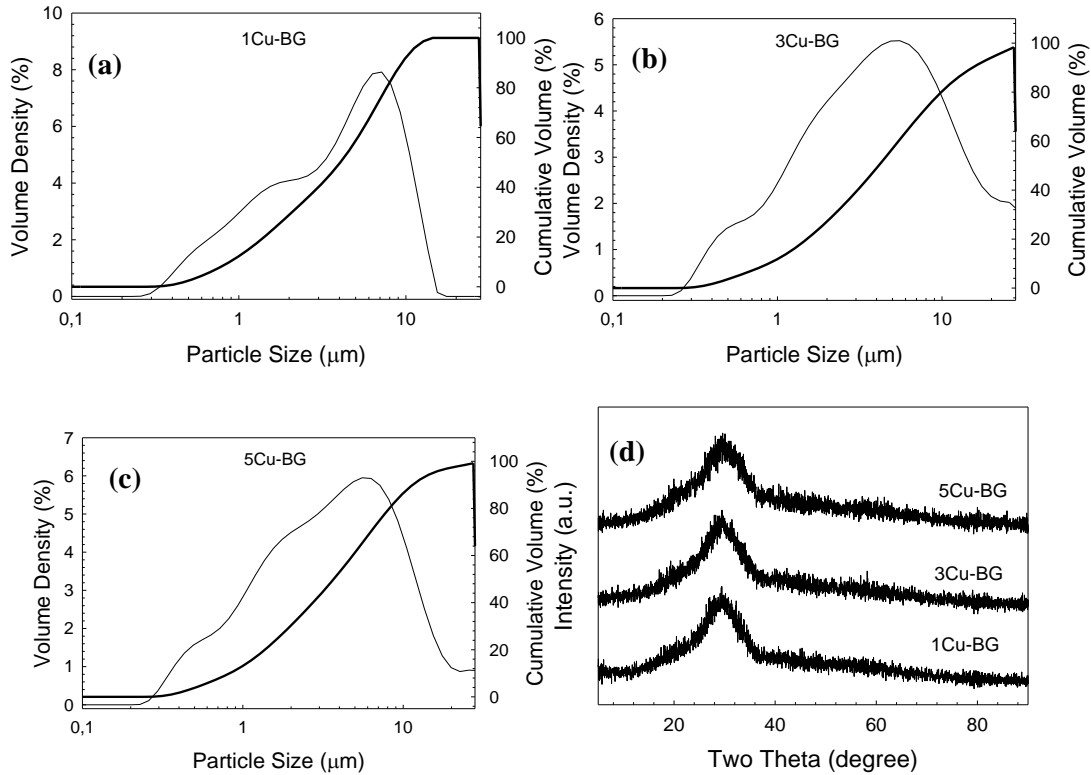
Görsel 1. Proje kapsamında hazırlanan CuO-içeren 13-93 biyoaktif cam tozlarının sentez aşamalarını gösteren fotoğraflar.



Görsel 2. Sentezlenen CuO içeren biyoaktif cam tozlarının (a) kalsinasyon öncesi ve (b) kalsinasyon sonrasındaki FTIR spektrumları.

Buna göre kalsinasyon öncesinde örneklerin FTIR spektrumunda $\sim 1049\text{ cm}^{-1}$ dalga boyunda ν_1 , simetrik NO gerilmesi, $\sim 830\text{ cm}^{-1}$ dalga boyunda ν_2 , düzlem dışı sallanma (rocking) ve $\sim 1370\text{ cm}^{-1}$ dalga boyunda antisimetrik N–O gerilme bandının olduğu anlaşılmaktadır [16]. Diğer yandan kalsine edilen örneklerde $900\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyunda asimetrik Si–O gerilme bandının [17] var olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç Si–OR grupları arasında başarılı bir kondenzasyon reaksiyonu gerçekleştiğini ve kalsinasyon işlemi sonrasında başlangıç malzemelerinden gelen nitrat gruplarının termal dekompozisyon sonucu metal oksitler oluşturduğunu kanıtlamaktadır.

Diğer yandan hazırlanan biyoaktif cam tozlarının tane boyut dağılımı grafikleri ve XRD desenleri Görsel 3’de verilmektedir. Buna göre sentezlenen biyoaktif cam tozlarının geniş bir tane boyut dağılımına sahip olduğu ve tane boyutu analiz cihazı ile yapılan ölçüm sonuçlarına göre cam tozlarının d_{50} tane boyutunun eklenen Cu^{2+} miktarına bağlı olarak $3.69\text{ }\mu\text{m}$ ile $4.60\text{ }\mu\text{m}$ arasında olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 2). Ayrıca uygulanan kalsinasyon işleminin camlarda herhangi bir kristal faz oluşumuna neden olmadığı XRD analiz sonuçlarından görülmektedir. Örneklerin XRD paternlerinde yaklaşık 30° ’de (2θ) yer alan düşük şiddetli geniş pik SiO_2 bazlı amorf camların karakteristik desenidir.

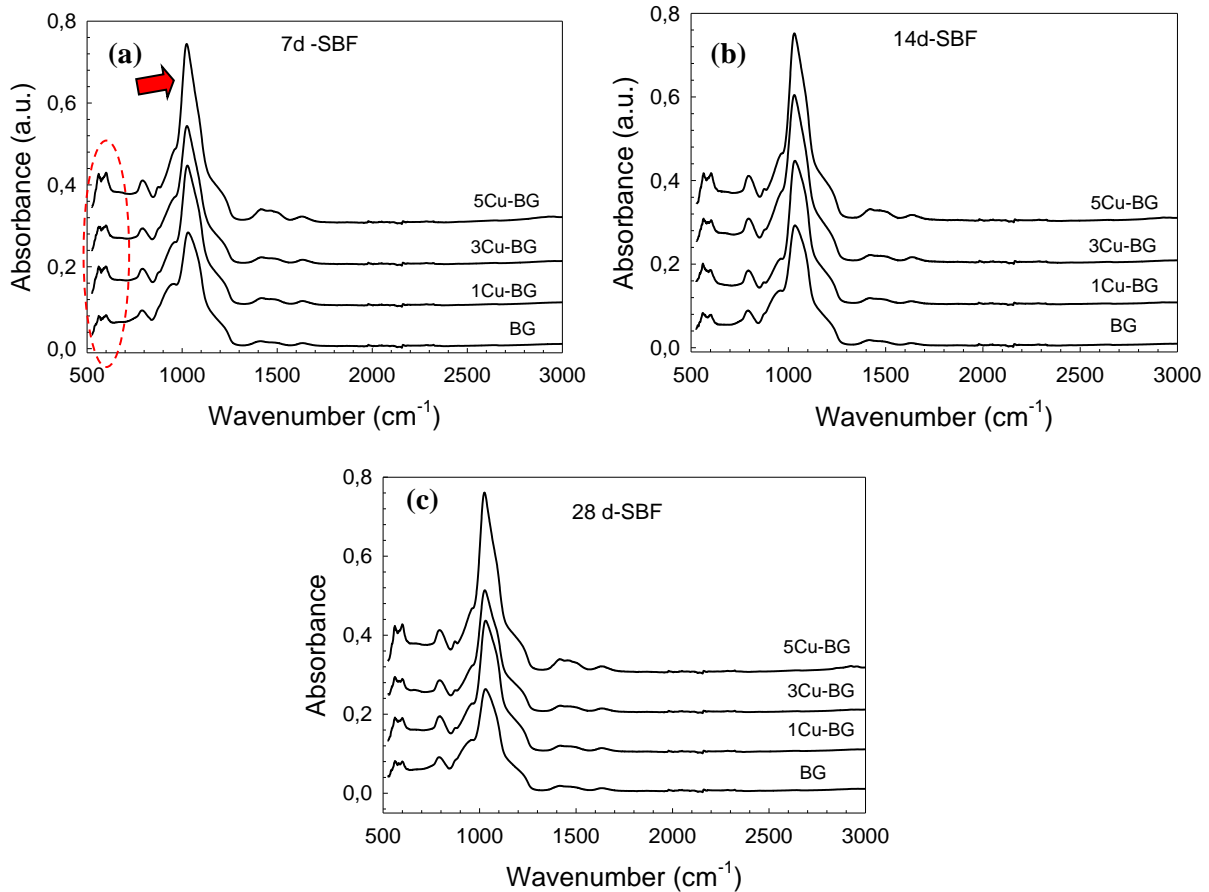


Görsel 3. Sentezlenen CuO içeren biyoaktif cam tozlarının tane boyut dağılımlarını gösteren grafikler (a) 1Cu-BG, (b) 3Cu-BG, (c) 5Cu-BG, (d) tozların XRD desenleri.

Çizelge 2. Sentezlenen CuO-katkılı biyoaktif cam tozlarının tane boyutu ölçüm sonuçları.

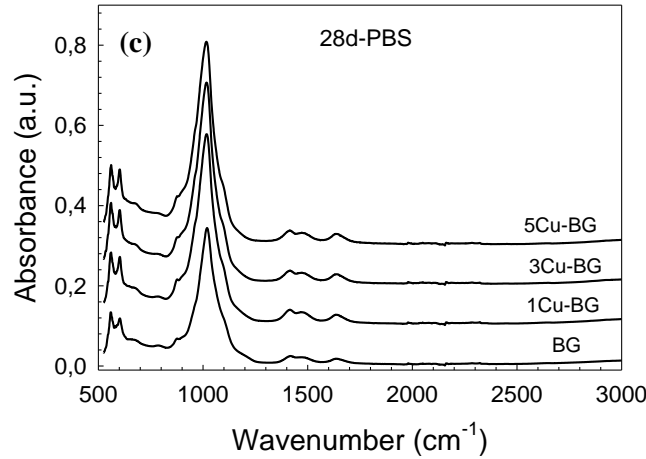
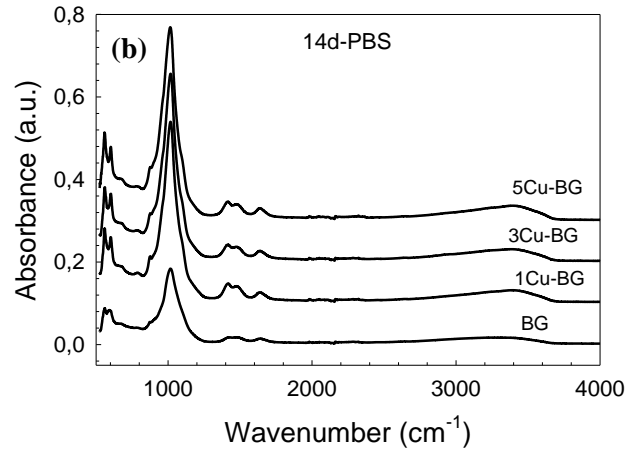
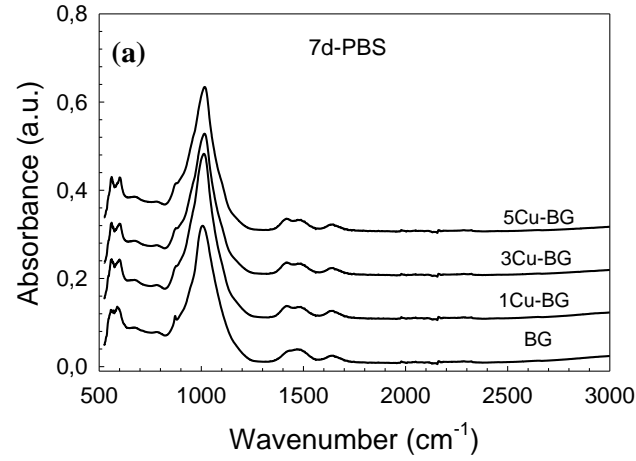
Kod	d ₁₀ (µm)	d ₅₀ (µm)	d ₉₀ (µm)
BG	0.987	4.60	15.7
1Cu-BG	0.956	4.55	15.1
3Cu-BG	0.887	4.47	14.6
5Cu-BG	0.827	3.69	11.5

Sentezi yapılan biyoaktif camların SBF ve PBS içerisindeki mineralizasyon davranışı FTIR spektroskopisi ile incelenmiştir (Görsel 4 ve Görsel 5). Buna göre, örneklerin spektrumlarında 560 cm⁻¹ ve 604 cm⁻¹ civarında ve 980-1120 cm⁻¹ aralığında ortofosfat PO₄³⁻ grubuna ait piklerin var olduğu görülmektedir [18]. SBF içerisinde 28 gün bekletilen biyoaktif cam örneklerinde hidroksiapatit (HA) oluşumuna işaret eden, 560 ve 604 cm⁻¹ dalga boyundaki piklerin hem katkısız hem de Cu²⁺ içeren biyoaktif cam örneklerinde bulunması sentezi yapılan camların biyoaktif özelliğe sahip olduğunu kanıtlamaktadır.



Görsel 4. SBF içerisinde farklı süreler bekletilen CuO içeren biyoaktif cam tozlarının FTIR spektrumları (a)7 gün , (b) 14 gün, (c) 28 gün.

Diğer yandan 560 ve 604 cm^{-1} civarında görülen çift pik absorbans şiddetinde artan Cu^{2+} miktarı ile birlikte artış gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum, bakır (II) ilavesinin sentezlenen biyoaktif camların SBF ve PBS içerisindeki mineralizasyon davranışını arttırdığına işaret etmektedir. PBS içerisinde bekletilen örneklerde HA oluşum hızının daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.



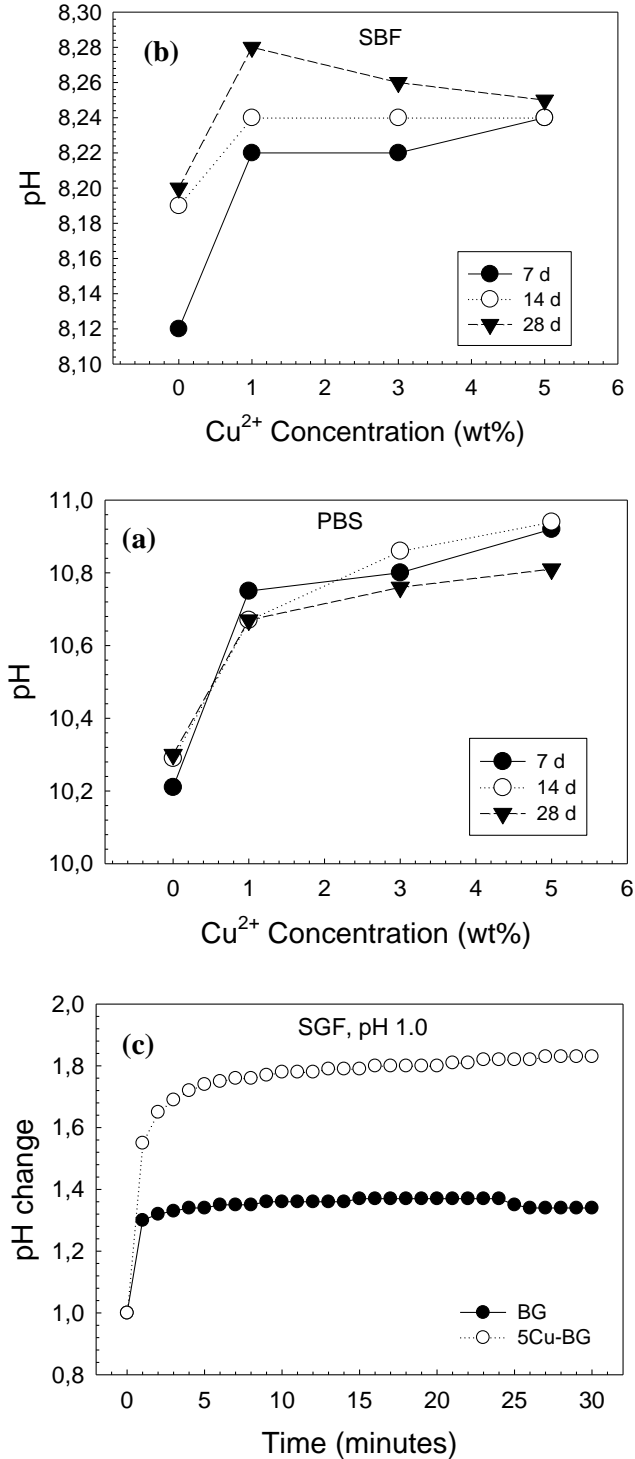
Görsel 5. PBS içerisinde farklı süreler bekletilen CuO içeren biyoaktif cam tozlarının FTIR spektrumları (a)7 gün , (b) 14 gün, (c) 28 gün.

In vitro biyoaktivite çalışmalarının sonuçlarına göre, bakır (II) oksit ilavesinin HA oluşumunu indüklediği ve fizyolojik sıvılar içerisinde bekletilen tüm örneklerin yüzeyinde 7 günden itibaren HA oluştuğu görülmektedir. Çalışma kapsamında hazırlanan fizyolojik sıvıların (SBF, PBS ve SGF) pH değerlerindeki değişimler Görsel 6'da verilmiştir. İçerisinde biyoaktif cam tozları bekletilen SBF, PBS ve SGF'nin pH değerlerinde zamana bağlı artış olduğu tespit edilmiştir. Bu durum sentezlenen biyoaktif camların fizyolojik sıvılar ile teması sonucu ortama Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} gibi alkali iyonların salımı sonucu gerçekleşmektedir. İçerisinde biyoaktif cam partikülleri bekletilen fizyolojik sıvılar içerisinde pH değerlerindeki en yüksek artışın PBS'de olduğu anlaşılmış, 5% Cu^{2+} içeren biyoaktif cam tozlarının, katkısız cam partiküllerine göre SGF'nin pH değerini daha hızlı yükselttiği görülmüştür. PBS içerisinde bekletilen örneklerde artan Cu^{2+} katkı miktarı ile birlikte PBS'in pH değerlerinde daha hızlı artış olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum FTIR analiz sonuçları ile uyumlu olup Cu^{2+} katkısının camların çözünme davranışını hızlandırdığı buna bağlı olarak da biyoaktivitenin arttığı sonucuna varılmıştır.

Diğer yandan sentezlenen biyoaktif camların fizyolojik sıvılarda neden olduğu pH yükselmesi ayrıca ilgili sıvılarda alkali iyon konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak gerçekleşen osmotik basınç yükselmesinin ilgili biyoaktif camların kullanıldığı sistemlerde antibakteriyel etki gözlenmesine neden olduğu konu üzerine yapılan geçmiş çalışmalarda yer almaktadır. Zhang vd [19] tarafından yapılan bir çalışma farklı kompozisyonlara sahip biyoaktif cam tozlarının pek çok aerobik bakteri üzerinde yüksek konsantrasyonlarda (100 mg/mL) kullanıldığında oldukça güçlü antibakteriyel etki gösterdiğini raporlamıştır. Wu vd. [20] tarafından yapılan bir çalışmada ise Cu-içeren mezogözenekli biyoaktif camların anjiyogenez kapasitesi ve antibakteriyel aktiviteye (*E.Coli*) sahip olduğu ifade edilmiştir.

Diğer yandan, *Helicobacter pylori* (*H. pylori*), insan mide mukozasına bağlanan spiral şekilli bir Gram-negatif bakteri patojenidir. Yapılan araştırmalar bu bakterinin, atrofik gastrit, kronik gastrit, mide ülseri, duodenum ülseri, mukoza ile ilişkili lenfoid doku lenfomaları, mide kanseri ve adenokarsinomlar gibi insan gastrointestinal rahatsızlıklarıyla güçlü bir şekilde bağlantılı olduğunu ortaya koymuştur [21]. Elmehbad vd [21] tarafından yapılan bir çalışma CuO nanopartikülleri içeren kitosan bazlı kompozitlerin anti-*H.pylori* aktivitesi gösterdiğini raporlamışlardır. Chen vd. [22] tarafından yapılan bir çalışma da kötü huylu kanser hücre

hatlarının canlılığının CuO nanopartikül@nişasta varlığında doza bağlı olarak azaldığını göstermiştir. Klinik çalışmadan sonra, CuO nanopartikül@nişasta bazlı sistemlerde insanlarda mide, pankreas ve kolon kanserlerinin tedavisinde etkili bir ilaç olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir. Bu nedenle mevcut çalışma kapsamında sentezlenen CuO içeren biyoaktif camların gastrik ülser sonucu oluşan yumuşak doku hasarının ve gastrointestinal sistem hastalıklarının tedavisinde kullanılma potansiyellerinin olabileceği sonucuna varılmıştır.



Görsel 6. İçerisinde CuO-katkılı biyoaktif cam tozları bekletilen fizyolojik sıvıların pH değerlerindeki değişimi gösteren grafikler (a) SBF , (b) PBS, (c) SGF.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Çalışma kapsamında sol-jel yöntemi ile CuO katkılı 13-93 biyoaktif tozları sentezlenerek karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar hazırlanan biyoaktif cam tozlarının amorf yapıda olduğunu ve ortalama tane boyutunun 3.70 ile 4.60 μm aralığında olduğunu göstermektedir. SBF ve PBS içerisinde 7, 14 ve 28 gün bekletilen biyoaktif cam tozlarının yüzeyinde HA oluşumu gerçekleştiği görülmüştür. In vitro biyoaktivite çalışmalarının sonuçlarına göre, CuO ilavesinin HA oluşumunu indüklediği ve fizyolojik sıvılar içerisinde bekletilen tüm örneklerin yüzeyinde 7 günden itibaren HA oluştuğu anlaşılmıştır. İçerisinde biyoaktif cam tozları bekletilen SBF, PBS ve SGF'nin pH değerlerinde zamana bağlı artış olduğu tespit edilmiştir. İçerisinde biyoaktif cam partikülleri bekletilen fizyolojik sıvılar içerisinde pH değerlerindeki en yüksek artışın PBS'de olduğu anlaşılmış, 5%Cu²⁺ içeren biyoaktif cam tozlarının, katkısız cam partiküllerine göre SGF'nin pH değerini daha hızlı yükselttiği görülmüştür. Çalışma kapsamında sentezlenen malzemelerin buldukları fizyolojik ortamda pH artışına bağlı olarak antibakteriyel özellik gösterebileceği sonucuna varılmıştır. Çalışma kapsamında AGS mide hücre hattı kullanılarak ilgili biyoaktif cam örneklerine ait in vitro sitotoksikite çalışmaları ve antibakteriyel aktivite testleri devam etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 223M255 Numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü yazar TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunar.

KAYNAKÇA

[1]. Hench, L. L., Splinter, R. J., Allen, W. C., & Greenlee, T. K., Jr. Bonding mechanisms at the interface of ceramic prosthetic materials. *Journal of Biomedical Materials Research*, 2, 117-141, 1971.

- [2] . Rahaman, M. N., Day, D. E., Bal, B. S., Fu, Q., Jung, S. B., Bonewald, L. F. Bioactive glass in tissue engineering, *Acta Biomaterialia*, 7(6), 2355-2373, 2011.
- [3]. Zhu, Y., Li, X., Yang, J., Wang, S., Gao, H., Hanagata, N. Composition–structure–property relationships of the $\text{CaO-M}_x\text{O}_y\text{-SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ ($M = \text{Zr, Mg, Sr}$) mesoporous bioactive glass (MBG) scaffolds, *Journal of Materials Chemistry*, 21(25), 9208-9218, 2011.
- [4]. Zhu, Y., Zhang, X., Chang, G., Deng, S., Chan, H.F. Bioactive Glass in Tissue Regeneration: Unveiling Recent Advances in Regenerative Strategies and Applications. *Advanced Materials*, 2312964, 2024.
- [5]. Zhao, S., Zhang, J., Zhu, M., Zhang, Y., Liu, Z., Ma, Y., Zhu, Y., Zhang, C. Effects of functional groups on the structure, physicochemical and biological properties of mesoporous bioactive glass scaffolds, *Journal of Materials Chemistry B*, 3(8), 1612-1623, 2015.
- [6]. Gerhard, L.-C., Boccaccini, A. R. Bioactive glass and glass-ceramic scaffolds for bone tissue engineering. *Materials*, 3, 3867-3910, 2010.
- [7]. Verrier, S., Blaker, J. J., Maquet, V., Hench, L. L., Boccaccini, A. R. PDLLA/Bioglass® composites for soft-tissue and hard-tissue engineering: an in vitro cell biology assessment, *Biomaterials*, 25, 3013-302, 2004.
- [8]. Zhang, K., Ma, Y., Francis, L. F. Porous polymer/bioactive glass composites for soft to hard tissue interfaces. *Journal of Biomedical Materials Research*, 61, 551-563, 2002.
- [9]. Ma, A. N., Gong, N., Lu, J. M., Huang, J. L., Hao, B., Guo, Y., Zhong, J., Xu, Y., Chang, J., Wang, Y. X. Local protective effects of oral 45S5 bioactive glass on gastric ulcers in experimental animals. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 24, 803-809, 2013.
- [10]. Gorustovich, A. A., Roether, J. A., Boccaccini, A. R. Effect of bioactive glasses on angiogenesis: a review of in vitro and in vivo evidences. *Tissue Engineering Part B: Reviews*, 16(2), 199-207, 2010.
- [11]. Mehrabi, T., Mesgar, A. S., Mohammadi, Z. Bioactive glasses: a promising therapeutic ion release strategy for enhancing wound healing, *ACS Biomaterials Science and Engineering*, 6(10), 5399-5430, 2020.
- [12]. Naseri, S., Lepry, W. C., Nazhat, S. N. Bioactive glasses in wound healing: hope or hype? *Journal of Materials Chemistry B*, 5(31), 6167-6174, 2017.
- [13]. Míguez-Pacheco, V., Gorustovich, A. A., Boccaccini, A. R., Roether, J. A. Bioactive glasses for soft tissue engineering applications, in *Bioactive Glasses: Fundamentals, Technology and Applications*, ed. A. R. Boccaccini, D. S. Brauer, and L. Hupa, The Royal Society of Chemistry, Ch. 15, 336-36, 2016.

- [14]. Deliormanlı, A. M., Yildirim, M. Sol-gel synthesis of 13-93 bioactive glass powders containing therapeutic agents, *Journal of the Australian Ceramic Society*, 52(2), 9–19, 2016.
- [15]. Kokubo, T., Takadama, H. How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity? *Biomaterials*, 27, 15, 2907-2915, 2006.
- [16]. Mihaylov, M.Y., Zdravkova, V.R., Ivanova, E.Z., Aleksandrov, H.A., Petkov, P.St., Vayssilov, G.N., Hadjiivanov, K.I. Infrared spectra of surface nitrates: Revision of the current opinions based on the case study of ceria, *Journal of Catalysis*, 394, 245-258, 2021.
- [17]. Tran, T., Pham, V.A., Le, P., Nguyen, T., Tran, V. Synthesis of amorphous silica and sulfonic acid functionalized silica used as reinforced phase for polymer electrolyte membrane. *Adv. Nat. Sci.: Nanoscience and Nanotechnology*, 4, 045007, 2013.
- [18]. Timchenko, P.E., Timchenko, E.V., Pisareva, E.V., Yu Vlasov, M., Red'kin, N.A., Frolov, O.O. Spectral analysis of allogeneic hydroxyapatite powders, *Journal of Physics: Conference Series*, 784, 012060, 2017.
- [19]. Zhang, D., Leppäranta, O., Munukka, E., Ylänen, H., Viljanen, M.K., Eerola, E., Hupa, M. and Hupa, L. Antibacterial effects and dissolution behavior of six bioactive glasses. *J. Biomed. Mater. Res.*, 93A: 475-483, 2010.
- [20]. Wu, C., Zhou, Y., Xu, M., Han, P., Chen, L., Chang, J., Xiao, Y. Copper-containing mesoporous bioactive glass scaffolds with multifunctional properties of angiogenesis capacity, osteostimulation and antibacterial activity, *Biomaterials*, 34, 2, 422-433, 2013.
- [21]. Elmehbad, N.Y., Mohamed, N.A., Abd El-Ghany, N.A., Abdel-Aziz, M.M. Evaluation of the in vitro anti-inflammatory and anti-*Helicobacter pylori* activities of chitosan-based biomaterials modified with copper oxide nanoparticles, *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 127277, 2023.
- [22]. Chen, J., Karmakar, B., Salem, M.A., Alzahrani, A.Y., Bani-Fwaz, M.Z., Abdel-Daim, M.M., El-kott, A.F. CuO NPs@Starch as a novel chemotherapeutic drug for the treatment of several types of gastrointestinal system cancers including gastric, pancreatic, and colon cancers, *Arabian Journal of Chemistry*, 15, 4, 103681, 2022.

GASTRİK ÜLSER TEDAVİSİNDE KULLANILMAK ÜZERE BARYUM OKSİT İÇEREN BİYOAKTİF CAM PARTİKÜLLERİNİN SOL-JEL YÖNTEMİ İLE SENTEZİ

Prof. Dr. Aylin M. DELİORMANLI

Manisa Celal Bayar Üniversitesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

aylin.deliormanli@cbu.edu.tr

ORCID ID:0000-0001-7877-7635

ÖZET

Biyoaktif camlar doku mühendisliği ve diş hekimliği uygulamalarında başarıyla kullanılan, biyouyumlu, biyolojik olarak parçalanabilir, çok işlevli inorganik cam malzemeler olup fizyolojik sıvılar ile temas ettiğinde yüzeylerinde hidroksiapatit (HA) oluşturma yeteneğine sahiptirler. Bu çalışmada gastrointestinal sistem rahatsızlıklarının tedavisinde kullanılmak üzere baryum (II) oksit içeren (ağırlıkça %1, 3, 5) silikat bazlı 13-93 biyoaktif cam partikülleri sol-jel yöntemi ile 2 farklı Ba²⁺ kaynağı (baryum nitrat ve baryum klorür dihidrat) kullanılarak sentezlenmiştir. Hazırlanan biyoaktif cam tozlarının yapısal özellikleri, yapay vücut sıvısı (SBF) ve fosfat tamponlu salin (PBS) solüsyonu içerisindeki biyoaktivitesi X-ışınları difraksiyonu (XRD) ve Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometre (FTIR) ile incelenmiş ayrıca yapay mide sıvısında (SGF) bekletilen örneklerin neden olduğu pH değişimi gözlenmiştir. Sonuçlar, çalışma kapsamında sentezlenen biyoaktif cam tozlarında kristal fazların oluştuğunu ve hazırlanan tozların ortalama tane boyutunun yapıdaki Ba²⁺ miktarı ve kullanılan başlangıç maddesine bağlı olarak 3.46 ile 8.62 µm aralığında değiştiğini göstermektedir. SBF ve PBS içerisinde 7, 14 ve 28 gün bekletilen biyoaktif cam tozlarının yüzeyinde kalsiyum fosfat oluşumu gerçekleştiği görülmüştür. In vitro biyoaktivite çalışmalarının sonuçlarına göre, baryum (II) oksit ilavesinin HA oluşum hızını düşürdüğü ancak fizyolojik sıvılar içerisinde 28 gün bekletilen tüm örneklerin yüzeyinde (SBF’de 5%Ba²⁺ içeren örnekler hariç) HA oluştuğu belirlenmiştir. İçerisinde biyoaktif cam tozları bekletilen PBS ve SGF’nin pH değerlerinde zamana bağlı artış olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyoaktif cam, baryum (II) oksit, sol-jel, gastrik ülser, gastrointestinal sistem.

1. GİRİŞ

Biyoaktif camlar, fizyolojik sıvılar ile temas ettiklerinde yüzeylerinde karbonatlı hidroksiapatit tabakasının oluşumuyla sağlanan kemiğe güçlü bir şekilde bağlanma yeteneklerine bağlı olarak kemik doku mühendisliği uygulamaları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu özel biyomalzemeler 1971 yılında Florida Üniversitesi'nde Profesör Larry Hench tarafından geliştirilmesinden (45S5 Bioglass) bu yana, diğer biyomalzemelere kıyasla benzersiz biyoaktivitesi, kemik doku yanında insan yumuşak dokularıyla da olan etkileşimi ve biyoyumluluğu nedeniyle ilgi görmüştür [1-4]. İlk geliştirilen biyoaktif cam olan 45S5 dışında bir başka silikat bazlı cam olan 13-93 biyoaktif cam kompozisyonu fizyolojik sıvılar içerisinde K, Mg, Si, Na, Ca iyonlarının sürekli salınımı yapmaktadır. Özellikle, son yıllarda yapılan çalışmalar, 13-93 biyoaktif camların magnezyum iyonlarının makrofaj polarizasyonunu ve anjiyogenezi destekleme potansiyelini vurgulamıştır [5]. Bunun yanında farklı biyoaktif cam kompozisyonları düşük miktarlarda demir, gümüş, potasyum ya da çinko gibi farklı terapötik elementler de içerebileceği bilinmektedir [6].

Kemik doku mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılan biyoaktif camların yumuşak doku onarımı ve gastrointestinal sistem rahatsızlıklarının tedavisinde kullanımı üzerine literatürde yayınlanmış çalışmalar bulunmaktadır [7, 8]. Ma vd. [9] tarafından yapılan geçmiş bir çalışma, biyoaktif camın çözünme ürününün, etanol ile hasar görmüş GES-1 insan mide mukoza epitel hücrelerinin 48 ve 72 saat sonra çoğalmasını hızlandırdığını göstermiştir. Biyoaktif camlar fizyolojik ortam ile temas ettiğinde, sıvıdaki hidrojen ile camdaki sodyum arasındaki iyon değişimi tetiklenmektedir. Bu durum, mide pH'sının artmasına ve biyoaktif camların lokal anti-asit olarak davranmasına neden olabilir. Kalsiyum ve silikon gibi iyonlar biyoaktif camdan çevre dokuya salınmakta ve silikaca zengin poroz bir tabaka oluşturmakta, ardından cam yüzeyinde HA oluşumu gerçekleşmektedir. Ayrıca, bu silikaca zengin tabaka ve HA tabakası, cam yüzeyinde dokuya bağlanmak için büyük bağlama siteleri oluşturmaktadır [7]. Bu durum ülser oluşumuna karşı bir bariyer ve ülserojenler tarafından daha fazla hasara karşı koruyucu bir koruyucu tabaka oluşturabilir.

Diğer yandan bazı terapötik elementlerin yara iyileşmesi ve peptik ülser tedavisinde kullanıldığı bilinmektedir [10, 11]. Bu terapötik elementleri içeren biyoaktif camların gastrointestinal sistem rahatsızlıklarının tedavisinde daha etkin bir rol oynaması söz konusudur. Paliwal vd. [12] %1.3 mol oranında baryum (II) oksit içeren biyoaktif camlar hazırlayarak gastroduodenal ülser modellerindeki anti-ülser potansiyelini değerlendirmiştir. Bu amaçla ilgili biyoaktif camların profilaktik etkisi, etanol, aspirin ve pilor ligasyonu ile indüklenen mide ülseri ile sisteamin ile indüklenen duodenum ülseri modellerinde 5 gün boyunca incelenmiştir. Sonuçlar,

biyoaktif camların epitelium hücreleri üzerinde fiziksel bir koruyucu bariyer oluşturduğunu göstermiştir. Pilorikligasyon, etanol ve aspirin modellerinde, Ba^{2+} içeren biyoaktif camlar, mide pH'sını belirgin şekilde arttırmış ve anti-asit benzeri bir aktivite göstermiştir. BaO-katkılı biyoaktif camların kullanımı pilorik modelde hücre proliferasyonunu belirgin şekilde arttırmış böylece, biyoaktif cam, koruyucu bir fiziksel bariyer oluşturarak, asit nötralizasyonu ve hücre proliferasyonu yoluyla anti-ülser etki göstermiştir. Majumdar vd. [13] yayımladıkları bir çalışmalarında Ba^{2+} -içeren (2 mol%) 45S5 biyoaktif camların sıçanlar üzerindeki in vivo sitotoksitesini incelemişlerdir. Histolojik analiz sonuçları dişi ve erkek sıçanlarda 300 mg/kg dozunda herhangi bir organ toksisitesi olmadığını göstermiştir.

Literatürde yer alan geçmiş çalışmalar, Ba^{2+} katkılı biyoaktif camların, gastrointestinal sistem hastalıklarının tedavisinde umut verici bir potansiyele sahip olabileceğini göstermektedir. Ayrıca 13-93 biyoaktif camların anjiyogenez ve yara iyileşmesini ROS/P53/MMP9 sinyali yolu ile etkilediği bilinmektedir [5]. Bu nedenle bu çalışmada, gastrik ülser tedavisi için baryum (II) içeren silikat bazlı 13-93 biyoaktif camların sol-jel yöntemi ile hazırlanması ve karakterizasyonu amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Baryum (II) içeren Biyoaktif Cam Sentezi

Çalışma kapsamında BaO katkılı silika bazlı 13-93 biyoaktif cam ($6Na_2O$, $12K_2O$, $5MgO$, $20CaO$, $4P_2O_5$, $53SiO_2$; ağırlıkça %) tozları sol-jel yöntemi ile sentezlenmiştir [14]. Silikat bazlı 13-93 camların sentezi için başlangıç malzemeleri olarak tetraetil ortosilikat, trietil fosfat, sodyum nitrat, potasyum nitrat, magnezyum nitrat hegzahidrat, kalsiyum nitrat tetrahidrat (Sigma-Aldrich, Almanya) kullanılmıştır. Ba^{2+} -içeren biyoaktif camların sentezinde ek olarak baryum nitrat ($Ba(NO_3)_2$) veya baryum klorür dihidrat ($BaCl_2 \cdot 2H_2O$) kullanılmış olup, biyoaktif camlar 1, 3, 5% ağırlıkça BaO içerecek şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan cam solüsyonları oda sıcaklığında bekletilerek jelleşme sağlanmış ardından $60^\circ C$ sıcaklıkta 24 saat yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Bunu $60^\circ C$ ' de kurutma işlemi takip etmiş, ardından kurutulmuş jeller hava ortamında $625^\circ C$ 'de 4 saat kalsine edilmiştir. Elde edilen biyoaktif cam parçaları planeter değirmende (Fritsch Planetary Mill, Pulverisette 7 Premium Line) 700 rpm'de 10 dakika öğütülerek boyut küçültme sağlanmıştır. Çalışma kapsamında sentezlenen biyoaktif cam tozlarının kompozisyon bilgileri Çizelge 1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Çalışmada sentezlenen biyoaktif cam tozlarının kompozisyon bilgisi (ağırlıkça%).

Kod	SiO ₂	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	BaO
BG	53	20	12	6	5	4	0
1Ba-BG	52	20	12	6	5	4	1
3Ba-BG	50	20	12	6	5	4	3
5Ba-BG	48	20	12	6	5	4	5

2.2. Karakterizasyonlar

Çalışma kapsamında sentezlenen biyoaktif camların yapısal özellikleri FTIR-ATR spektrometresi (Thermo Scientific-Nicolet, IS20) ile 525 ile 4000 cm⁻¹ dalga boyu aralığında, ve kristalizasyon davranışı X-ışını difraktometre (XRD, Malvern Panalytical EMPYREAN) kullanılarak incelenmiş, tozların tane büyüklüğü, tane boyutu ölçüm cihazı (Malvern, Mastersizer 3000, UK) ile lazer kırınım yöntemi ve Mie Teorisi kullanılarak ölçülmüştür.

In vitro biyoaktivite deneyleri yapay vücut sıvısı (SBF) ve fosfat tamponlu salin solüsyonu (PBS) içerisinde gerçekleştirilmiştir. SBF, Kokubo vd. [15] tarafından belirtilen yöntemle hazırlanmıştır. PBS hazırlamada NaCl, KCl, Na₂HPO₄ ve KH₂PO₄ kullanılmıştır. Sentezlenen katkısız 13-93 ve Ba²⁺ katkılı 13-93 cam tozları, pH'sı 7.4 olan yapay vücut sıvısı (SBF) ve PBS içine konularak (1 gr örnek için 500 ml SBF olacak şekilde) inkübatörde 37 °C' de belirli süreler (7, 14, 28 gün) bekletilmiştir. SBF ve PBS'den çıkarılan örneklerin yüzeyinde hidroksiapatit (HA) oluşumu FTIR spektroskopisi kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca içerisine örnek konulan PBS ve yapay mide sıvısının (SGF, pepsin içermemektedir) pH değişimi pH metre (Hanna HI 2211) ile takip edilmiştir. Yapay mide sıvısı (1000 ml) 2 g sodyum klorür ve 7 ml hidroklorik asit kullanarak hazırlanmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

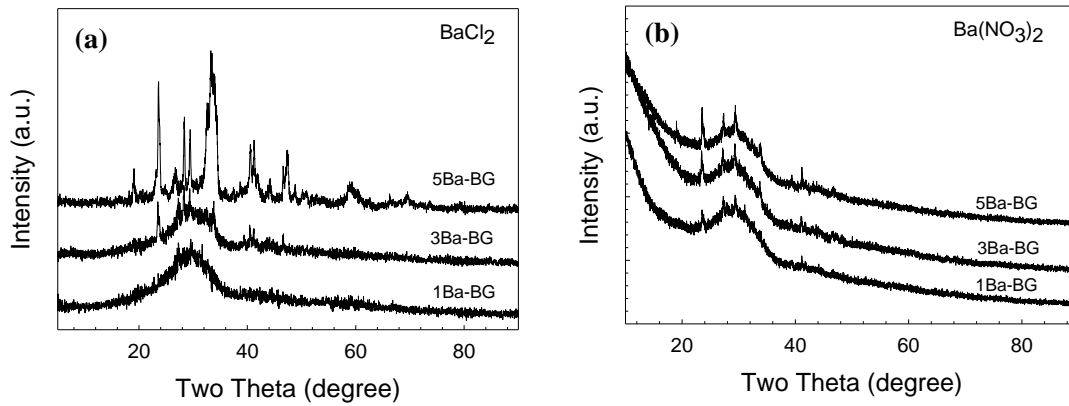
Çalışmada sol-jel yöntemi ile biyoaktif cam hazırlama sırasındaki sentez aşamalarını gösteren fotoğraflar Görsel 1'de verilmektedir. Buna göre hazırlanan solların jelleştiği ve kurutma sonrası kserojeller oluştuğu anlaşılmaktadır. Ba(NO₃)₂ ve BaCl₂.2H₂O kullanılarak sentezlenen camların kalsinasyon sonrası XRD desenleri Görsel 2'de gösterilmektedir. Buna göre, kalsine edilen biyoaktif cam tozlarının XRD desenlerinde kristal fazların oluştuğu görülmektedir. Örneklerin XRD paternlerinde yaklaşık 30°'de (2θ) ye alan düşük şiddetli geniş pik SiO₂ bazlı amorf camların karakteristik desenidir. Bunun dışında kristal yapıda BaCl₂.2H₂O ve BaO fazlarına ait piklerinin [16, 17] olduğu görülmektedir. Hazırlanan kserojellerin kalsinasyon

(c)

öncesi ve 625 °C’de yapılan kalsinasyon işlemi sonrasındaki FTIR spektrumları Görsel 3’de verilmiştir.



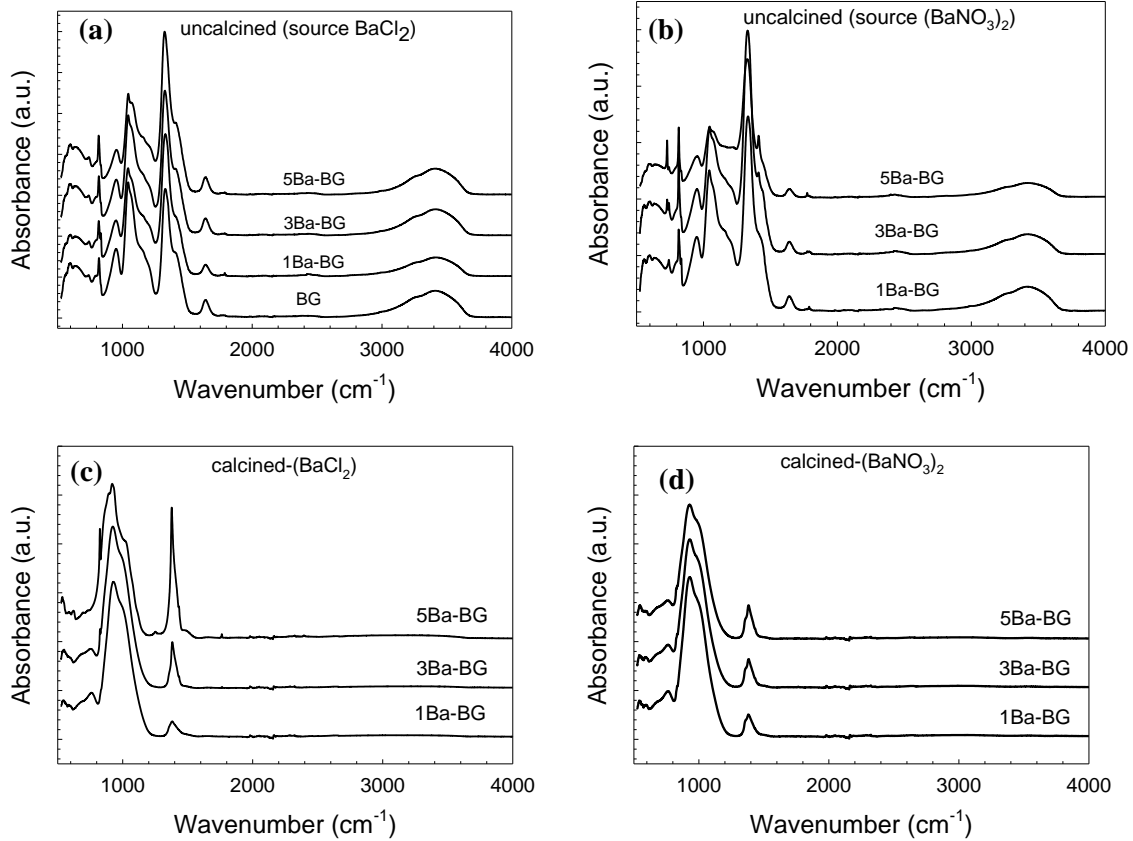
Görsel 1. Proje kapsamında hazırlanan BaO-içeren 13-93 biyoaktif cam tozlarının sentezine ait gösteren fotoğraflar; üst satır Ba(NO₃)₂ alt satır BaCl₂.2H₂O kullanılarak hazırlanmıştır.



Görsel 2. Sentezlenen biyoaktif cam tozlarının XRD desenleri (a) BaCl₂, (b) Ba(NO₃)₂.

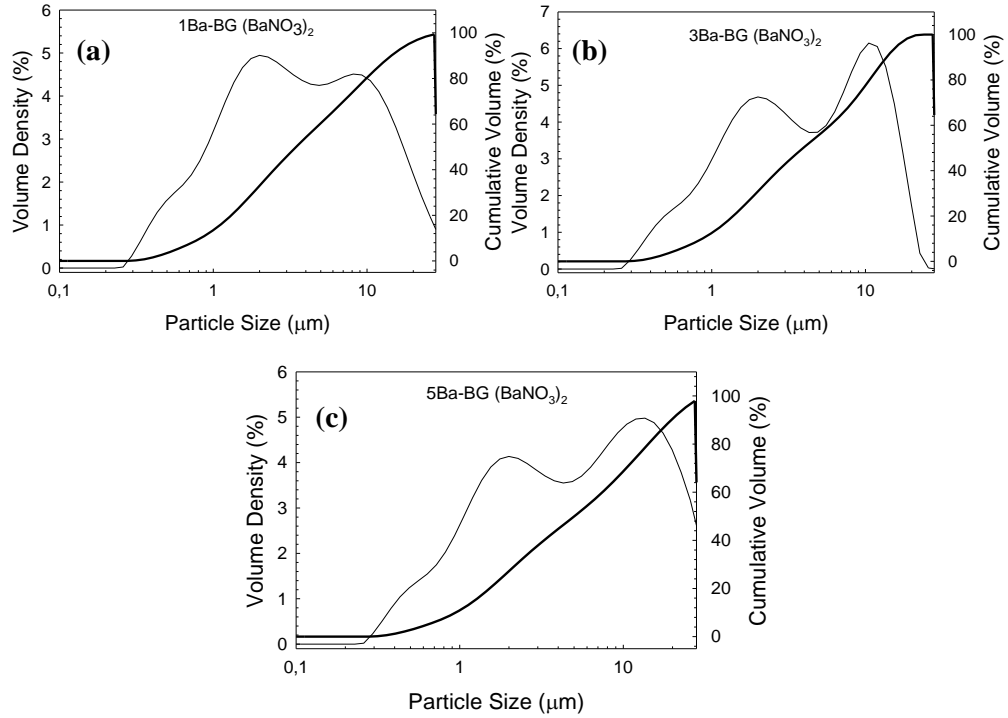
Kalsinasyon öncesinde örneklerin FTIR spektrumunda ~1049 cm⁻¹ dalga boyunda ν_1 , simetrik NO gerilmesi, ~830 cm⁻¹ dalga boyunda ν_2 , düzlem dışı sallanma (rocking) ve ~1370 cm⁻¹ dalga boyunda antisimetrik N–O gerilme bandının olduğu anlaşılmaktadır [18]. Diğer yandan kalsinasyon sonrasında 900-1000 cm⁻¹ dalga boyunda asimetrik Si-O gerilme bandının [19] var

olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç Si-OR grupları arasında başarılı bir kondenzasyon reaksiyonu gerçekleştiğini ve kalsinasyon işlemi sonrasında başlangıç malzemelerinden gelen nitrat gruplarının dekompoze olarak metal oksitler oluşturduğunu kanıtlamaktadır. Sonuçlar, cam sentezinde baryum (II) kaynağı olarak $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ kullanıldığında nitrat gruplarının ($\sim 1370 \text{ cm}^{-1}$) kalsinasyon sonucu yapıdan tamamen uzaklaşmadığını göstermektedir.



Görsel 3. Sentezlenen BaO içeren biyoaktif cam tozlarının (a),(b) kalsinasyon öncesi ve (c),(d) kalsinasyon sonrasındaki FTIR spektrumları.

Diğer yandan hazırlanan biyoaktif cam tozlarının tane boyut dağılımı grafikleri Görsel 4’de verilmektedir. Buna göre sentezlenen biyoaktif cam tozlarının bimodal, geniş bir tane boyut dağılımına sahip olduğu ve tane boyutu analiz cihazı ile yapılan ölçüm sonuçlarına göre cam tozlarının d_{50} tane boyutunun yapıdaki Ba^{2+} miktarı ve kullanılan başlangıç maddesine bağlı olarak $3.46 \mu\text{m}$ ile $8.62 \mu\text{m}$ arasında olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 2). $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ kullanılarak hazırlanan cam tozlarının tane boyutlarının kristalizasyona bağlı olarak daha büyük olduğu anlaşılmaktadır.



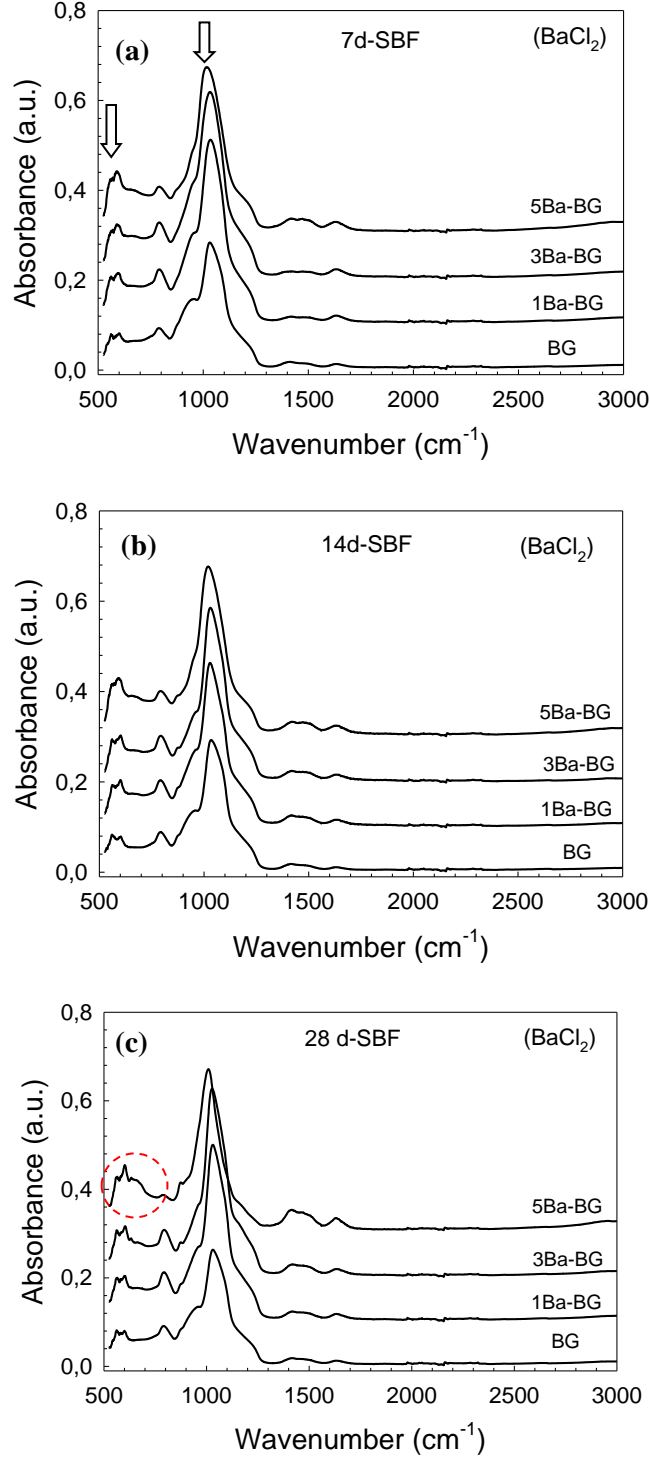
Görsel 4. Sentezlenen BaO içeren biyoaktif cam tozlarının tane boyut dağılımlarını gösteren grafikler (a) 1Ba-BG, (b) 3Ba-BG, (c) 5Ba-BG. Ba²⁺ kaynağı olarak Ba(NO₃)₂ kullanılmıştır.

Çizelge 2. Sentezlenen BaO-katkılı biyoaktif cam tozlarının tane boyutu ölçüm sonuçları.

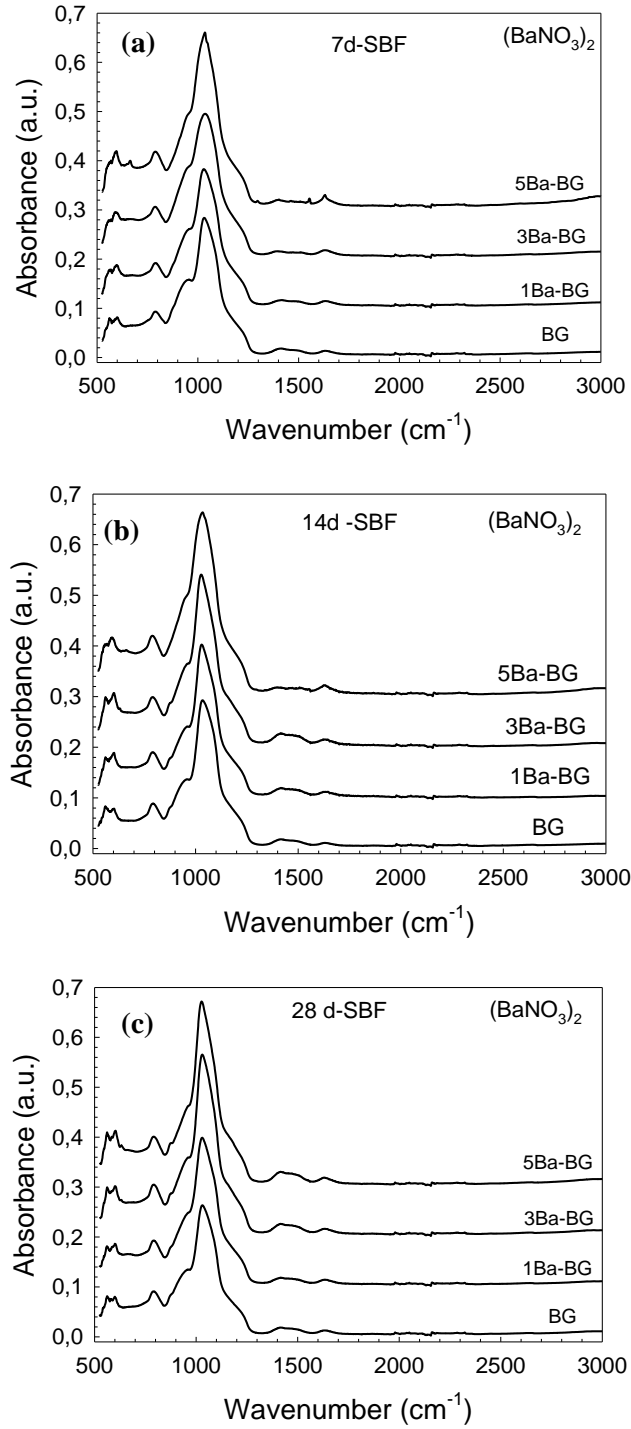
Başlangıç malzeme	Kod	d ₁₀ (μm)	d ₅₀ (μm)	d ₉₀ (μm)
BaCl ₂ .2H ₂ O	BG	0.98	4.60	15.7
	1Ba-BG	1.06	5.73	24.8
	3Ba-BG	0.99	4.50	22.3
Ba(NO ₃) ₂	5Ba-BG	1.38	8.62	23.9
	1Ba-BG	0.83	3.46	14.4
	3Ba-BG	0.87	3.94	13.7
	5Ba-BG	0.94	5.02	19.7

Sentezi yapılan biyoaktif camların SBF ve PBS içerisindeki mineralizasyon davranışı FTIR spektroskopisi ile incelenmiştir (Görsel 5- Görsel 8). Buna göre, örneklerin spektrumlarında 560 cm⁻¹ ve 604 cm⁻¹ civarında ve 980-1120 cm⁻¹ aralığında ortofosfat PO₄³⁻ grubuna ait piklerin var olduğu görülmektedir [20]. SBF içerisinde 28 gün bekletilen biyoaktif cam örneklerde HA oluşumuna işaret eden, 560 ve 604 cm⁻¹ dalga boyundaki piklerin hem katkısız hem de Ba²⁺ içeren biyoaktif cam örneklerinde bulunması sentezi yapılan camların biyoaktif özelliğe sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Ancak BaCl₂ kullanılarak hazırlanan cam tozlarında

5Ba-BG örneğinde 28 gün sonunda hala HA oluşumunun düşük seviyede kaldığı anlaşılmaktadır. Ba(NO₃)₂ kullanılarak hazırlanan örneklerde bu durum gözlenmemiş ancak artan Ba²⁺ katkısının HA oluşum hızını olumsuz etkilediği görülmüştür.

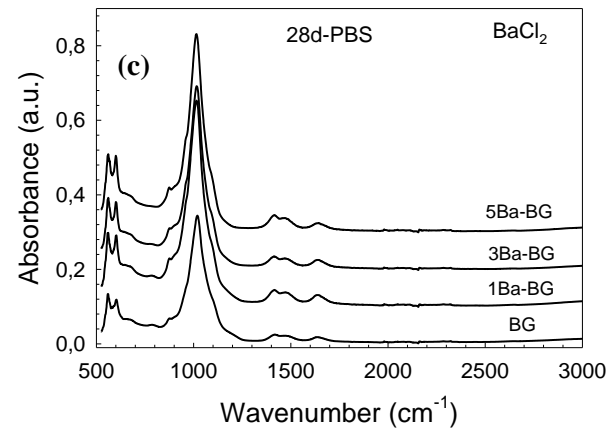
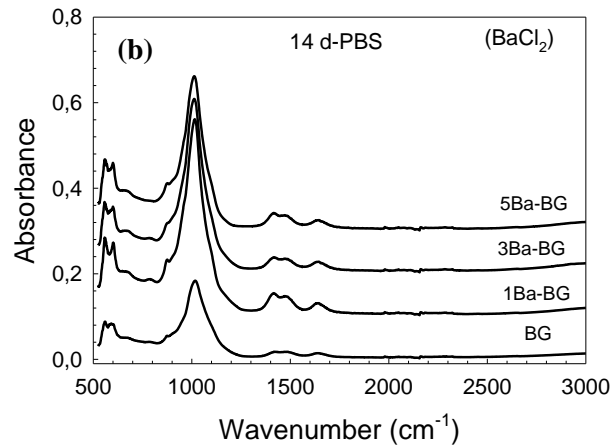
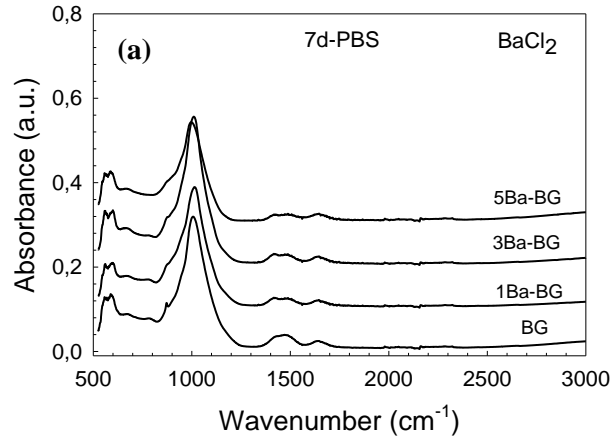


Görsel 5. SBF içerisinde farklı süreler bekletilen BaO içeren biyoaktif cam tozlarının FTIR spektrumları (a)7 gün , (b) 14 gün, (c) 28 gün. Ba²⁺ kaynağı olarak BaCl₂ kullanılmıştır. Oklar ortofosfat gruplarını göstermektedir.

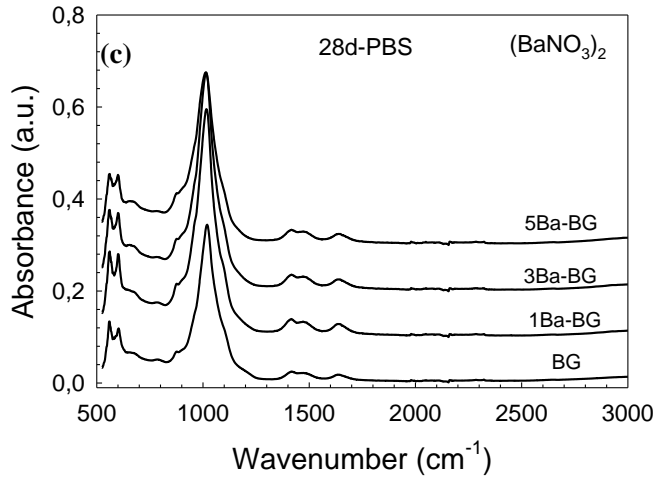
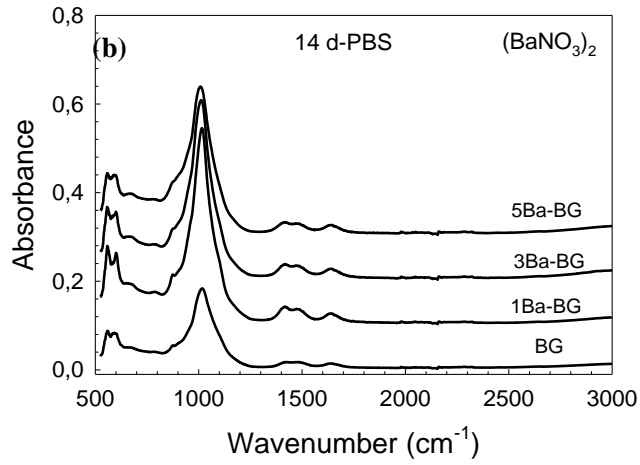
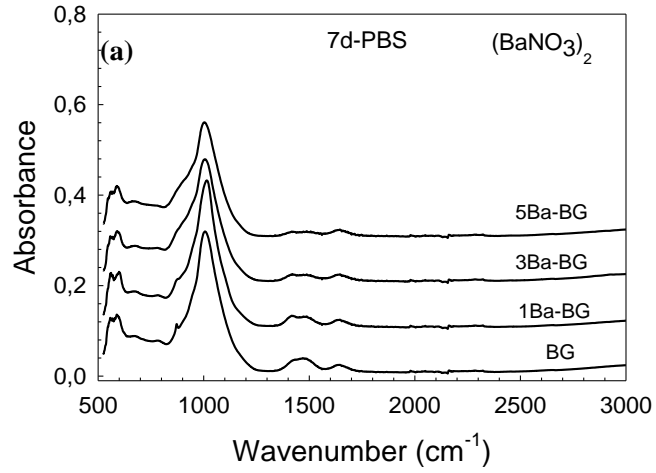


Görsel 6. SBF içerisinde farklı süreler bekletilen BaO içeren biyoaktif cam tozlarının FTIR spektrumları (a)7 gün , (b) 14 gün, (c) 28 gün. Ba^{2+} kaynağı olarak $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ kullanılmıştır.

Genel olarak, 560 ve 604 cm^{-1} civarında görülen çift pik absorbanş şiddetinde artan Ba^{2+} miktarı ile birlikte bir miktar azalma (5% Ba^{2+} içeriğinde) gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum, yüksek miktarda baryum (II) ilavesinin sentezlenen biyoaktif camların SBF ve PBS içerisindeki mineralizasyon davranışını bir miktar düşürdüğünü göstermektedir. PBS içerisinde bekletilen örneklerde HA oluşum hızının daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.



Görsel 7. PBS içerisinde farklı süreler bekletilen CuO içeren biyoaktif cam tozlarının FTIR spektrumları (a)7 gün , (b) 14 gün, (c) 28 gün. Ba²⁺ kaynağı olarak BaCl₂ kullanılmıştır.



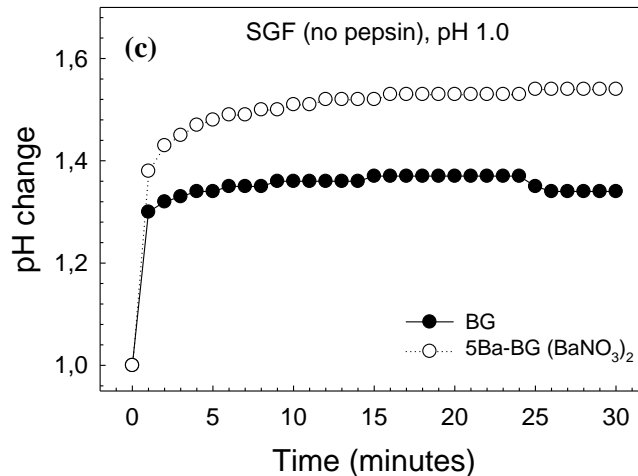
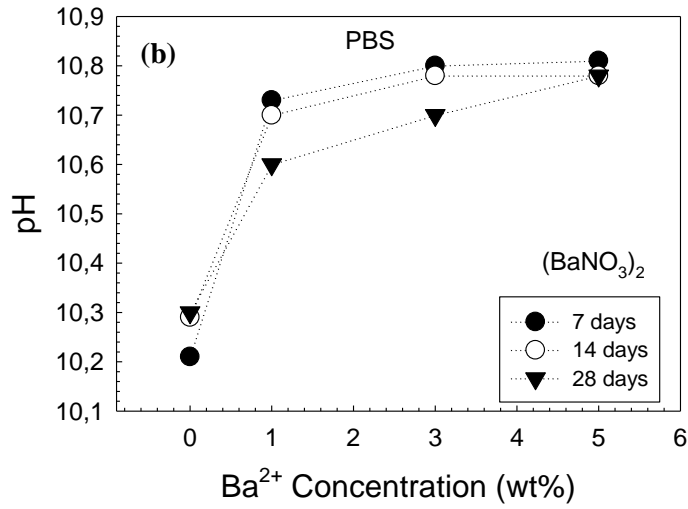
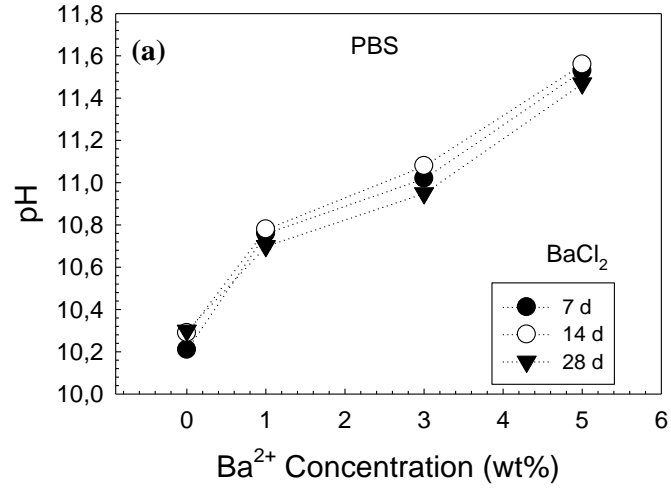
Görsel 8. PBS içerisinde farklı süreler bekletilen CuO içeren biyoaktif cam tozlarının FTIR spektrumları (a)7 gün , (b) 14 gün, (c) 28 gün. Ba²⁺ kaynağı olarak Ba(NO₃)₂ kullanılmıştır.

In vitro biyoaktivite çalışmalarının sonuçlarına göre, fizyolojik sıvılar içerisinde bekletilen tüm örneklerin yüzeyinde 7 günden itibaren ortofosfat (PO₄³⁻) gruplarının ve 28 gün sonunda ise HA (~550-600 cm⁻¹'de bükülme titreşimi P-O gruplarının varlığına bağlı olarak) oluştuğu görülmektedir. Çalışma kapsamında hazırlanan fizyolojik sıvıların (PBS ve SGF) pH değerlerindeki değişimler Görsel 9'da verilmiştir. İçerisinde biyoaktif cam tozları bekletilen PBS ve SGF'nin pH değerlerinde zamana bağlı artış olduğu tespit edilmiştir. Bu durum sentezlenen biyoaktif camların fizyolojik sıvılar ile teması sonucu ortama Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ gibi alkali iyonların salımı sonucu gerçekleşmektedir. 5%Ba²⁺ içeren biyoaktif cam tozlarının, katkısız cam partiküllerine göre SGF'nin pH değerini daha hızlı yükselttiği görülmüştür. PBS içerisinde bekletilen örneklerde artan Ba²⁺ katkı miktarı ile birlikte PBS'in pH değerlerinde daha hızlı artış olduğu anlaşılmaktadır. Baryumun toprak alkali bir element olmasının ve baryum ilavesinin yapıdan SiO₂ eksiltilerek camların sentezlenmesinin bu sonucun elde edilmesinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Diğer yandan sentezlenen biyoaktif camların fizyolojik sıvılarda neden olduğu pH yükselmesi ve ayrıca ilgili sıvılarda alkali iyon konsantrasyonunun artışına bağlı olarak gerçekleşen osmotik basınç artışının ilgili biyoaktif camların kullanıldığı sistemlerde antibakteriyel etki gözlenmesine neden olduğu konu hakkında literatürde yapılan geçmiş çalışmalarda yer almaktadır. Zhang vd [21] farklı kompozisyonlara sahip bioaktif cam tozlarının pek çok aerobik bakteri üzerinde yüksek konsantrasyonlarda oldukça güçlü antibakteriyel etki gösterdiğini raporlamıştır.

Helicobacter pylori (*H.Pylori*), insan mide mukozasına bağlanan bir Gram-negatif bakteri patojenidir. Literatürde yer alan geçmiş çalışmalar bu bakterinin, atrofik gastrit, kronik gastrit, mide ülseri, duodenum ülseri, mukoza ile ilişkili lenfoid doku lenfomaları, mide kanseri ve adenokarsinomlar gibi insan gastrointestinal rahatsızlıklarıyla bağlantılı olduğunu ortaya koymuştur [22]. Abdullah vd. [23] tarafından yapılan bir çalışma, BaO nanopartiküllerinin hem Gram pozitif hem de Gram negatif bakteriyel büyümeyi durdurduğunu, bunların E. coli'ye karşı 19.12 ± 0.31 mm'ye, Klebsiella pneumoniae'ye karşı 18.83 ± 0.44 mm'ye, P. aeruginosa'ya karşı 17.31 ± 0.59 mm'ye, S. aureus'a karşı 16.56 ± 0.37 mm'ye ve S. epidermidis'e karşı 15.75

± 0.38 mm'ye kadar etkili olduğunu göstermiştir. Her ne kadar *H. Pylori* üzerindeki etkisi hakkında yeterli bilgi bulunmasa da mevcut çalışma kapsamında sentezlenen Ba^{2+} - katkılı 13-93 biyoaktif camların gastrik ülser sonucu oluşan yumuşak doku hasarının ve gastrointestinal sistem hastalıklarının tedavisinde kullanılma potansiyellerinin olabileceğini göstermektedir.



Görsel 9. İçerisinde BaO-katkılı biyoaktif cam tozları bekletilen fizyolojik sıvıların pH değerlerindeki değişimi gösteren grafikler (a),(b) PBS, (c) SGF.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Çalışma kapsamında sol-jel yöntemi ile 1, 3, 5% Ba²⁺ katkılı 13-93 biyoaktif tozları sentezlenerek karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Sentez çalışmalarında baryum (II) kaynağı olarak BaCl₂.2H₂O veya Ba(NO₃)₂ kullanılmıştır. Sonuçlar hazırlanan biyoaktif cam tozlarında kalsinasyon sonrasında bazı kristal fazların oluştuğunu (özellikle BaCl₂. 2H₂O kullanıldığında) ve sentezlenen tozların ortalama tane boyutunun 3.46 ile 8.62 µm aralığında olduğunu göstermiştir. SBF ve PBS içerisinde 7, 14 ve 28 gün bekletilen biyoaktif cam tozlarının yüzeyinde kalsiyum fosfat ve HA oluşumu gerçekleştiği anlaşılmıştır. In vitro biyoaktivite çalışmalarının sonuçlarına göre, yüksek miktarda Ba²⁺ ilavesinin HA oluşum hızını düşürdüğünü ancak fizyolojik sıvılar içerisinde bekletilen tüm örneklerin yüzeyinde 7 günden itibaren kalsiyum fosfat ve 28 günde HA oluştuğu anlaşılmıştır. İçerisinde biyoaktif cam tozları bekletilen PBS ve SGF'nin pH değerlerinde zamana bağlı artış olduğu tespit edilmiştir. 5%Ba²⁺ içeren biyoaktif cam tozlarının, katkısız cam partiküllerine göre SGF'nin pH değerini daha hızlı yükselttiği görülmüştür. Çalışma kapsamında sentezlenen malzemelerin buldukları fizyolojik ortamda pH artışına bağlı olarak antibakteriyel özellik gösterebileceği sonucuna varılmıştır. Çalışma kapsamında AGS mide hücre hattı kullanılarak in vitro sitotoksosite çalışmaları ve *H. Pylori* bakteri suşuna karşı antibakteriyel aktivite testleri devam etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 223M255 Numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü yazar TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunar.

KAYNAKÇA

[1]. Hench, L. L., Splinter, R. J., Allen, W. C., & Greenlee, T. K., Jr. Bonding mechanisms at the interface of ceramic prosthetic materials. Journal of Biomedical Materials Research, 2, 117-141, 1971.

- [2] . Rahaman, M. N., Day, D. E., Bal, B. S., Fu, Q., Jung, S. B., Bonewald, L. F. Bioactive glass in tissue engineering, *Acta Biomaterialia*, 7(6), 2355-2373, 2011.
- [3]. Zhu, Y., Li, X., Yang, J., Wang, S., Gao, H., Hanagata, N. Composition–structure–property relationships of the $\text{CaO-M}_x\text{O}_y\text{-SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ ($M = \text{Zr, Mg, Sr}$) mesoporous bioactive glass (MBG) scaffolds, *Journal of Materials Chemistry*, 21(25), 9208-9218, 2011.
- [4]. Zhu, Y., Zhang, X., Chang, G., Deng, S., Chan, H.F. Bioactive Glass in Tissue Regeneration: Unveiling Recent Advances in Regenerative Strategies and Applications. *Advanced Materials*, 2312964, 2024.
- [5]. Chen, X., Ran, X., Wei, X., Zhu, L., Chen, S., Liao, Z., Xu, K., Xia, W. Bioactive glass 1393 promotes angiogenesis and accelerates wound healing through ROS/P53/MMP9 signaling pathway, *Regenerative Therapy*, 26, 132-144, 2024.
- [6]. Gerhard, L.-C., Boccaccini, A. R. Bioactive glass and glass-ceramic scaffolds for bone tissue engineering. *Materials*, 3, 3867-3910, 2010.
- [7]. Verrier, S., Blaker, J. J., Maquet, V., Hench, L. L., Boccaccini, A. R. PDLLA/Bioglass® composites for soft-tissue and hard-tissue engineering: an in vitro cell biology assessment, *Biomaterials*, 25, 3013-302, 2004.
- [8]. Zhang, K., Ma, Y., Francis, L. F. Porous polymer/bioactive glass composites for soft to hard tissue interfaces. *Journal of Biomedical Materials Research*, 61, 551-563, 2002.
- [9]. Ma, A. N., Gong, N., Lu, J. M., Huang, J. L., Hao, B., Guo, Y., Zhong, J., Xu, Y., Chang, J., Wang, Y. X. Local protective effects of oral 45S5 bioactive glass on gastric ulcers in experimental animals. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 24, 803-809, 2013.
- [10]. Gorustovich, A. A., Roether, J. A., Boccaccini, A. R. Effect of bioactive glasses on angiogenesis: a review of in vitro and in vivo evidences. *Tissue Engineering Part B: Reviews*, 16(2), 199-207, 2010.
- [11]. Mehrabi, T., Mesgar, A. S., Mohammadi, Z. Bioactive glasses: a promising therapeutic ion release strategy for enhancing wound healing, *ACS Biomaterials Science and Engineering*, 6(10), 5399-5430, 2020.
- [12]. Paliwal, P., Sampath Kumar, A., Tripathi, H., Singh, S. P., Patne, S. C. U., Krishnamurthy, S. Pharmacological application of barium containing bioactive glass in gastro-duodenal ulcers, *Materials Science and Engineering: C*, 92, 424-434, 2018.
- [13]. Majumdar, S., Krishnamurthy, S. In vivo toxicological evaluation of barium-doped bioactive glass in rats, *Ceramics International*, 48(2), 2022.

- [14]. Deliormanlı, A. M., Yildirim, M. Sol-gel synthesis of 13-93 bioactive glass powders containing therapeutic agents, *Journal of the Australian Ceramic Society*, 52(2), 9–19, 2016.
- [15]. Kokubo, T., Takadama, H. How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity? *Biomaterials*, 27, 15, 2907-2915, 2006.
- [16]. Naz, F., Saeed, K. Synthesis of barium oxide nanoparticles and its novel application as a catalyst for the photodegradation of malachite green dye. *Appl Water Sci* 12, 121, 2022.
- [17]. Han, W., Zhang, Y., Liu, R., Sun, Y., Li, M. Purification of spent electrolyte by sequential precipitation method and its on-line monitoring. *Ionics*. 27, 4829–4838, 2021.
- [18]. Mihaylov, M.Y., Zdravkova, V.R., Ivanova, E.Z., Aleksandrov, H.A., Petkov, P.St., Vayssilov, G.N., Hadjiivanov, K.I. Infrared spectra of surface nitrates: Revision of the current opinions based on the case study of ceria, *Journal of Catalysis*, 394, 245-258, 2021.
- [19]. Tran, T., Pham, V.A., Le, P., Nguyen, T., Tran, V. Synthesis of amorphous silica and sulfonic acid functionalized silica used as reinforced phase for polymer electrolyte membrane. *Adv. Nat. Sci.: Nanoscience and Nanotechnology*, 4, 045007, 2013.
- [20]. Timchenko, P.E., Timchenko, E.V., Pisareva, E.V., Yu Vlasov, M., Red'kin, N.A., Frolov, O.O. Spectral analysis of allogeneic hydroxyapatite powders, *Journal of Physics: Conference Series*, 784, 012060, 2017.
- [21]. Zhang, D., Leppäranta, O., Munukka, E., Ylänen, H., Viljanen, M.K., Eerola, E., Hupa, M. and Hupa, L. Antibacterial effects and dissolution behavior of six bioactive glasses. *J. Biomed. Mater. Res.*, 93A: 475-483, 2010.
- [22]. Elmehbad, N.Y., Mohamed, N.A., Abd El-Ghany, N.A., Abdel-Aziz, M.M. Evaluation of the in vitro anti-inflammatory and anti-Helicobacter pylori activities of chitosan-based biomaterials modified with copper oxide nanoparticles, *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 127277, 2023.
- [23]. Abdullah, Rahman, A. U., Faisal, S., Almostafa, M. M., Younis, N. S., Yahya, G. Multifunctional Spirogyra-hyalina-Mediated Barium Oxide Nanoparticles (BaONPs): Synthesis and Applications. *Molecules*, 28(17), 6364, 2023.

ENDÜSTRİYEL ALANLARDA HAFİF KOMPOZİT MALZEMELERİN KULLANIMININ SAĞLADIĞI AVANTAJLAR

Doç. Dr. Gonca DÜZKALE SÖZBİR

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi/Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu/ Malzeme ve
Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü,
goncaduzkale@gmail.com, ORCID NO: 0000-0002-0728-841X

ÖZET

Kompozit malzemeler, farklı bileşenlerin birleştirilerek üstün mekanik, termal veya kimyasal özelliklere sahip yeni malzemeler elde edildiği çok yönlü materyallerdir. Bu malzemeler, genellikle iki veya daha fazla farklı maddeyi bir araya getirerek daha güçlü, hafif ve dayanıklı ürünler sunar. Hafif kompozitler, düşük yoğunluklu bileşenlerle oluşturulan bu tür malzemelerdir ve özellikle ağırlık sınırlamaları olan alanlarda tercih edilir. Hafif kompozitler, yüksek performans gereksinimlerini karşılamak için yüksek dayanım ve düşük ağırlık sağlar. Bu tür malzemeler, günümüz teknolojisinde enerji verimliliği, taşınabilirlik ve güvenlik gibi önemli faktörlerde büyük katkılar sunmaktadır.

Bu çalışmada, hafif kompozit malzemelerin önemini, havacılık ve uzay teknolojisi, otomotiv teknolojisi, denizcilik ve deniz endüstrisi, yapı ve inşaat sektörü gibi endüstri alanlarında neden tercih edildiğini ve sağladığı avantajlar hakkında bilgi sunulmaktadır. Ayrıca, hafif kompozit malzemeler, çeşitli endüstrilerde oldukça yüksek bir potansiyele ve yaygın uygulamalara sahip heyecan verici bir malzeme sınıfı olarak vurgulanmıştır. Bu inceleme makalesi, uygulamaların kapsamlı bir analizini sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit, Hafif Malzemeler, Endüstri, Avantaj

ADVANTAGES OF THE USE OF LIGHT COMPOSITE MATERIALS IN INDUSTRIAL AREAS

ABSTRACT

Composite materials are different materials that combine various components to obtain new materials with superior mechanical, thermal or chemical properties. These materials usually combine two or more different substances to provide stronger, lighter and more durable products. Lightweight composites are such materials created with low-density components and are especially preferred in areas with weight limitations. Lightweight composites provide high strength and low weight to meet high performance requirements. Such materials make great contributions to important factors such as energy efficiency, portability and safety in today's technology.

In this study, provides information on the importance of lightweight composite materials, why they are preferred in industrial areas such as space technology, automotive technology, marine and marine industry, construction and building sector. and the advantages they provide. Furthermore, lightweight composite materials have been highlighted as an exciting class of materials with very high potential and widespread applications in various industries. This review article provides a comprehensive analysis of the applications

Keywords: Composite, Lightweight Materials, Industry, Advantage

1.GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde bilgi ve teknolojinin ilerlemesiyle, malzemelerin insanlara ne kadar derinden entegre olduğu ortadadır. Ekonomik faktörler, lojistik ve toplumsal beklentiler, zaman içinde malzemelerin gelişimini şekillendirmiştir. Malzemeleri üretme, anlama ve işleme yeteneğimiz, teknolojik ilerlemelere büyük ölçüde katkıda bulunmuştur ve malzeme geliştirme düzeyi, giderek daha fazla performansa, enerji verimliliğine ve doğal kaynakların yeterli kullanımına odaklanmıştır.

Kompozit malzeme, önemli ölçüde farklı fiziksel veya kimyasal özelliklere sahip iki veya daha fazla bileşen malzemeden yapılmış bir mühendislik malzemesi olarak tanımlanmaktadır (Abdullahi ve Umar, 2011; Dimple ve ark., 2023). Kompozitler, avantajlı mekanik özellikleri ve hafiflikleri nedeniyle, sürekli olarak mümkün olan en verimli ve en ucuz ürünlere doğru gelişmektedir. Bunlar, otomobil, denizcilik, havacılık ve spor malzemeleri sektörleri gibi çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Habibi ve ark., 2020). Kompozitlerin benzersiz özellikleri, malzemelerin bileşen özelliklerini temel almaktadır ve kullanılan malzemelerin, geometrileri, boyutları, hizalamaları, dağılımları ve konsantrasyonları, davranışlarını tanımlamada önemli bir rol oynamaktadır (Phiri ve ark., 2024).

Kompozitler bir matris bileşeninden (sürekli faz) ve bir takviye bileşeninden (lifler veya/veya parçacıklar) oluşur. Takviye faz, mukavemet ve sertlik sağlar. Bu nedenle, takviye matristen daha sert, daha güçlü ve daha serttir. Matris, takviyeyi aşınma, yıpranma ve kimyasal saldırı gibi çevresel faktörlerden koruyan ve çevreleyen sürekli fazdır (Campbell, 2010). Kompozit malzemeler, esas olarak yüksek mukavemet-ağırlık oranları nedeniyle benzerlerinden çok daha sağlamdır (Sahu ve ark., 2023).



Görsel 1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Hafif malzemeler de genel olarak daha düşük yoğunluklu ancak geleneksel malzemelere kıyaslandığında, benzer veya geliştirilmiş performans sağlayan malzemelere denilmektedir. Bu hafif kompozit malzemeler, mukavemet-ağırlık oranları, azaltılmış karbon emisyonları, iyi termal direnç, radyasyon direnci, yorulma dayanıklılığı, hasar direnci ve daha iyi mekanik performansları nedeniyle bir çok endüstri tarafından yaygın olarak benimsenmiştir (Jones, 2014; Fan ve Njuguna, 2016). Bunlar içerisinde, havacılık, uzay, otomotiv, denizcilik, yapı ve inşaat sektörlerinde kullanım alanı sunmaktadır. Bu hafif kompozitler, metal matris

kompozitler, polimer matris kompozitler , seramik matris kompozitler ve fiber kompozitler gibi kategorilerden oluşmaktadır (Phiri ve ark., 2024).

Birçok endüstri, enerji tüketimini en aza indirmek için çaba göstermiş ve bu da ağır geleneksel malzemeler yerine hafif metaller, polimerler ve kompozitler gibi daha hafif alternatiflerin seçilmesine yol açmıştır (Rubio ve ark., 2019; Rajamudi Gowda ve ark., 2024). Hafif malzemeler, ağırlıktan tasarruf etme, taşınabilirliği artırma ve potansiyel olarak maliyetleri düşürmeyi amaçlamaktadır. Özellikle kompozit malzemelere, direnç, sertlik, hafif özellikler ve korozyon direncinin sağlanabilmesi nedeniyle malzeme bilimi ve mühendisliğinde hızla öne çıkmıştır (Rajak ve ark., 2019; Yan ve ark.,2012). Kompozitlerin kullanımı, 2013'ten bu yana yaklaşık %5'lik yıllık artışla önemli bir büyüme göstermiştir. Bu yükselen eğilimin devam edebilmesi için, kompozit malzemeleri ve hafif uygulamalardaki potansiyellerini iyice anlamak önemlidir (Phiri ve ark., 2024).

2. HAFİF KOMPOZİT MALZEMELERİN KULLANILDIĞI ENDÜSTRİLER

2.1. Uçak ve Uzay Endüstrisi

Havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılan malzemelerin ağırlığının az olması, yakıt verimliliğini artırarak tasarruf sağlamakta ve performansı artırmaktadır. Ayrıca hafif kompozitlerin dayanımı yüksek olduğu için uçaklarda ve uzay araçlarında daha dayanıklı ve güvenilir parçaların üretilmesine imkan tanımaktadır. Bu nedenle havacılık ve uzay endüstrisinde hafif kompozit malzemelere olan talep her geçen gün artmaktadır (Ölmez ve ark., 2023).

Alüminyum alaşımları ve metal matris kompozitleri (AMMC), havacılık uygulamaları için harika bir alternatiftir ve süper hafif malzemelerdir. Özellikleri nedeniyle araştırmacılar arasında muazzam bir ilgi görmüştür. Hafiftirler, daha ucuzdurlar, kolayca üretilirler ve yüksek mukavemetli bir malzeme haline getirilerek işlenebilirler (Sehgal ve ark., 2022; Siengchin, 2023). Hafif kompozitler, cam, karbon ve kevlar gibi sentetik lifler, alüminyum alaşımına kıyasla ağırlık azaltma için uçaklarda yaygın olarak kullanılmıştır. Elyaf takviyeli polimer ve elyaf metal laminatlar gibi çeşitli yüksek performanslı kompozitlerin geliştirilmesi üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır ve bunlar alüminyum alaşımları gibi önemli hafif havacılık malzemeleriyle rekabet etmektedir. Yapılan bir araştırma, E-cam takviyeli epoksi kompozit laminatın bir havacılık malzemesi olarak performansını değerlendirmiştir. Kullanılan sertleştirme maddesinde değişiklik yapılarak üretilen malzemenin çekme, eğilme, kesme ve darbe özellikleri incelenmiş ve kompozit malzemenin, eğilme mukavemeti ve sertlik değerlerinde önemli bir iyileşme gözlemlenmiştir. Çalışılan malzemenin, uçakların anten sistemlerinin mekanik kaplaması için kullanılacak potansiyel ve iyi bir elektromanyetik şeffaf malzeme olarak nitelendirildiği sonucuna varmışlardır(Bhavya ve ark.,2021). Yapılan başka bir araştırmada, havacılık uygulamaları için bitkisel lif ve odun tozu kullanarak hibrit bir biyokompozit geliştirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, malzemenin mekanik özelliklerini optimize etmişler ve biyolojik olarak daha iyi parçalanabilir olduğunu, kompozitlerin diğer formülasyonlarıyla karşılaştırıldığında daha hafif olduğunu bulmuşlardır (Tahir ve ark.,2022).

Havacılık ve uzay sektöründeki enerji ihtiyaçları oldukça yüksektir, bu nedenle maliyet tasarruflarını artırmak ve genel uçak ağırlığını düşürmek için hafif alaşımlar kullanmak

önemlidir. Bir uçağın ağırlığı, hareket etmenin maliyetini etkiler ve yakıt, genel harcamaların yaklaşık %30'unu oluşturur. Sonuç olarak, küresel havacılık trafiğinin 1977'den beri her 15 yılda bir iki katına çıkması ve bu eğilimin gelecekte de artmaya devam etmesi göz önüne alındığında, hafif yapısal malzemelerin benimsenmesinin olası avantajı açıktır (Scelsi ve ark., 2011; Timmis ve ark., 2015). Havacılık sektöründe, hafif ekstrüde ürünler kullanarak tasarrufu sağlamak amacıyla, çeşitli karmaşık kesit şekilleri üretmek, optimum malzeme işleme parametrelerini belirlemek, uçak ağırlığını düşürerek tasarrufu sağlamaktadır (Sliwa ve ark., 2017). En son uçakların yapısal kütlelerinin neredeyse %50'sini oluşturan uçak bileşenlerinde yaygın kullanımı, bunun kanıtıdır. Bu malzemeler, esnek polimer matrislerin yanı sıra çok hafif olan mikro/nano sürekli elyafların mükemmel özgül sertliğini ve mukavemetini kullanmaktadır. (Gorbatikh ve ark., 2016).

2.2. Otomotiv Endüstrisi

Bu endüstride hafif kompozit malzemelerin kullanımı giderek artmaktadır. Araba endüstrileri, hafif kompozit malzemelerin düşük yoğunluğu ve yüksek mukavemet özellikleri nedeniyle, ağırlıktan tasarruf ederek yakıt verimliliğini artırmayı ve performansı yükseltmeyi amaçlamaktadır. Bunun yanı sıra, hafif kompozit malzemelerin otomotiv endüstrisinde kullanımı, elektrikli ve hibrit araçların üretiminde de oldukça yaygındır. Bu malzemeler, batarya ağırlığını dengelemek ve araçların menzilini artırmak için tercih edilmektedir (Tasgın ve Kandemir, 2023).

Hafif kompozit malzemeler, koltuk, tavan, direksiyon simidi, kapak, gösterge paneli, paspaslar, enerji emici, iç ve dış panel, jantlar, yaprak yay, motor kapağı vb. gibi birçok bileşenler bu kompozit malzemelerle üretebilmektedir (Gupta ve ark., 2016). Örneğin, bir arabanın kütlelerini 100 kg azaltmak, her 100 km'de yaklaşık 0,7 litre yakıt tasarrufu sağlar (doğrudan ve dolaylı olarak). Hafif kompozit yapıların üretim süreci için, fiber takviyeli termoplastik malzemelere dayalı teknolojilerle entegre edilebilir. Hafif malzeme uygulamaları için ana motivasyonlar ağırlık tasarrufu ve olası maliyet tasarruflarıdır. Geliştirilmiş performansla önemli ağırlık azaltımları daha az yakıt tüketimi ve CO2 emisyonu anlamına gelecektir (Patel ve ark., 2018). Yakıt verimliliğinin iyileştirilmesi ve sera gazı emisyonunun azaltılmasına yönelik artan talepler, üreticileri hafif araçlar üretmeye yöneltmiştir. Ek olarak, daha hafif bir araç geri dönüştürüldüğünde ve/veya sürüldüğünde daha iyi işlev görebilir (örneğin, daha iyi yakıt verimliliği, frenleme özellikleri ve çarpışma güvenliği ile) (Zhang ve Xu, 2022; Mallick, 2020).

2.3. Denizcilik ve Deniz Endüstrisi

Denizcilik ve deniz endüstrisinde hafif kompozit malzemelerin kullanımı giderek artmaktadır. Gemi yapılarında, deniz araçlarında ve deniz platformlarında hafif kompozit malzemelerin tercih edilmesinin nedeni, düşük yoğunluğu, yüksek mukavemeti ve korozyona dayanıklı olmalarıdır. Bu özellikler sayesinde denizcilik endüstrisindeki kompozit malzemenin direnci yükselmekte ve performansı artmaktadır. Ayrıca, hafif kompozit malzemelerin kolay şekil verilebilme özelliği de denizcilik endüstrisinde tercih edilme sebebini oluşturmaktadır (Toğar, ve ark., 2021).

Hafif kompozit malzemeler, geleneksel malzemelere göre çok daha hafif olmalarına rağmen yüksek mukavemet sağlar. Bu özellik, deniz taşıtlarının hızını ve yakıt verimliliğini artırır.

Özellikle sandviç yapılar, bu avantajları sayesinde denizcilikte yaygın olarak kullanılmaktadır (Palomba ve ark., 2022). Deniz ortamı, tuzlu su ve nem nedeniyle metal yapıların korozyona uğramasına neden olabilir. Kompozit malzemeler, bu çevresel faktörlere karşı dirençli olduğu için bakım maliyetlerini düşürür ve uzun ömürlü yapılar sağlar (Siengchin, 2023). Kompozit malzemeler, tasarımda büyük bir esneklik sunar. Bu, gemilerin ve deniz yapılarının daha aerodinamik ve enerji verimli tasarımlarına olanak tanır. Özellikle sandviç yapıların kritik yük koşullarına dayanabilmesi, denizcilik mühendisliğinde yenilikçi uygulamalara kapı açmıştır (Palomba, 2020).

Hafif malzemeler, taşıtların ağırlığını azaltarak yakıt tüketimini düşürür. Bu durum, hem ekonomik faydalar sağlar hem de çevresel etkileri azaltır. Kompozit malzemelerin bu özelliği, çevresel sürdürülebilirliğin önem kazandığı günümüzde büyük avantaj sunmaktadır (Fan ve Njuguna, 2016). Deniz taşıtlarının darbe dayanımı ve güvenliği, kompozit malzemelerin sunduğu bir diğer önemli avantajdır. Örneğin, sandviç yapılar kritik yük ve darbe koşullarında daha yüksek performans gösterir (Sutherland, 2018). Hafif kompozit malzemelerin denizcilikteki geleceği, bu malzemelerin daha da geliştirilmesi ve yenilikçi uygulamalara entegrasyonu ile şekillenmektedir. Gelecekteki deniz taşıtlarının yapısal elemanlarında bu malzemelerin daha fazla kullanılacağı öngörülmektedir (Shenoi ve ark., 2011).

2.4. Yapı ve İnşaat Endüstrisi

Yapı ve inşaat sektöründe hafif kompozit malzemelerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle büyük yapılar, köprüler ve endüstriyel tesislerde, bu malzemelerin tercih edilmesinin nedeni, yüksek mukavemetleri ve hafiflikleridir. Hafif kompozit malzemelerin düşük ağırlıkları, taşıyıcı sistemlerin ağırlığını azaltmaktadır ve böylece yapım maliyetlerini düşürebilmektedir. Ayrıca, bu malzemelerin dayanıklı olmaları ve korozyona karşı direnç göstermeleri, yapıların kullanım süresini uzatmakta ve bakım maliyetlerini düşürmektedir (Toğar, 2021).

Kompozit yapılar, betonarme yapılara göre ağırlıkları daha az olabilmektedir. Böylelikle gerçekleşebilecek herhangi bir depremde, oldukça düşük yapısal hasar oluşturmaktadır. Kompozit yapılar, deprem kuvvetlerine karşı daha sünek davranış sergileyebilmektedir. Kompozit yapılarda ana taşıyıcı eleman laboratuvar ortamında hazırlandığı için kalite kontrol miktarı fazla olmaktadır. Kompozit yapılarda, çelik yapılarla kıyaslandığında %20 den düşük çelik kullanılabilir (İnce ve ark., 2015). Çok amaçlı, hafif malzemeler, tüm inşaat sisteminin tüm performansını ve ekolojik dostluğunu önemli ölçüde artırma potansiyeline sahiptir. Ek olarak, geniş anlamda, hafif malzemeler ayrıca, ana yapının özelliklerini etkilemeden kendi kendini temizleme veya yapısal sağlığın gözönünde tutulduğu özel görevleri gerçekleştirebilir (Costa ve ark., 2021; Rowe, 2012).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Kompozit malzemeler, çeşitli endüstrilerde oldukça yüksek bir potansiyele ve yaygın uygulamalara sahip heyecan verici bir malzeme sınıfı olarak ortaya çıkmıştır. Bu inceleme makalesi, uygulamaların kapsamlı bir analizini sunmaktadır. Makaleden çıkarılacak sonuçlar şu şekilde özetlenebilir;

- Hafif kompozit malzemeler yüksek mekanik dayanım sağlamaktadır.
- Hafif kompozit malzemeler korozyona karşı dayanıklılık göstermektedir.
- Bu malzemeler, esnek tasarım imkanı sağlamaktadır.
- Bu malzemeler kullanılarak çevresel etki azaltılabilmektedir.
- Hafif kompozit malzemelerin kullanımı sürdürülebilirlik potansiyeli sağlamaktadır.
- Bu malzemelerin kullanımı geri dönüşüm potansiyeli sağlamaktadır.
- Bu malzemeler, atık yönetimine imkan tanımaktadır.
- Hafif kompozit malzemelerin kullanımı karbon ayak izini düşürebilmektedir.

Ayrıca, bu inceleme makalesi, araştırmacıların hafif kompozit malzemelerin faydalarından etkili bir şekilde yararlanmalarını sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

- Abdullahi, I., & Umar, A. (2011). Potentials of unsaturated polyester-groundnut shell composite as material in building industry. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences*, 5, 78–84.
- Bhavya, S., Velmurugan, R., & Arunachalam, K. (2021). Evaluation of E glass epoxy composite laminate as an electromagnetically transparent aerospace material. *Materials Today: Proceedings*, 46, 4825–4834. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.320>.
- Campbell, F.C. (2010) Introduction to Composite Material. *Structural Composite Materials*, 1, 1-29.
- Costa, C. M., Costa, P., & Lanceros-Mendez, S. (2021). Overview on lightweight, multifunctional materials. In *Advanced lightweight multifunctional materials* (pp. 1–24). Woodhead Publishing.
- Dimple, Singh, G. P., & Mangal, R. (2023). A comprehensive review of natural fiber reinforced composite and their modern application. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.745>.
- Fan, J., & Njuguna, J. (2016). An introduction to lightweight composite materials and their use in transport structures. In *Lightweight composite structures in transport* (pp. 3–34).
- Gorbatikh, L., Wardle, B. L., & Lomov, S. V. (2016). Hierarchical lightweight composite materials for structural applications. *MRS Bulletin*, 41(9), 672–677.
- Gupta, G., Kumar, A., Tyagi, R., & Kumar, S. (2016). Application and future of composite materials: A review. *International Journal of Innovative Research in Science & Technology*, 6907–6911.

- Habibi, M., Selmi, S., Laperrière, L., Mahi, H., & Kelouwani, S. (2020). Post-impact compression behavior of natural flax fiber composites. *Journal of Natural Fibers*, 17(11), 1683–1691. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1588829>.
- İnce, G., İnce, H. H., & Kaya, F. (2015). Kompozit yapı sistemlerinin incelenmesi. *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, 6(1), 43–47.
- Jones, R. M. (2014). *Mechanics of composite materials*. CRC Press.
- Mallick, P. K. (2020). *Materials, design and manufacturing for lightweight vehicles*. Woodhead Publishing.
- Ölmez, C. & Sever, Z. & Güneş, S. (2023). *Engineering Applications of Composite Materials: Classification, Mechanical Calculations, Manufacturing Methods, and Applications*. In: Boztoprak, Y. (ed.), *Composite Materials with Different Engineering Approaches-I*. Özgür Publications. DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub131.c723>.
- Palomba, G. (2020). *Lightweight structures for marine applications: from testing to design*. Thesis_Giulia_Palomba.
- Palomba, G., Epasto, G. & Crupi, V. (2022). Lightweight sandwich structures for marine applications: a review. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, volume 29, 2022 - Issue 26, Pages 4839-4864 .
- Patel, M., Pardhi, B., Chopara, S., & Pal, M. (2018). Lightweight composite materials for automotive - A review. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(11).
- Phiri, R., Rangappa, S. M., Siengchin, S., Oladijo, O. P., & Ozbakkaloğlu, T. (2024). Advances in lightweight composite structures and manufacturing technologies: A comprehensive review. *Heliyon*, 10, e39661.
- Rajak, D. K., Pagar, D. D., Kumar, R., & Pruncu, C. I. (2019). Lightweight materials for automotive applications: A review. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6), 6354–6374. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.09.068>.
- Rajamudi Gowda, A. H., Goud, G., Sathynarayana, K., & Puttegowda, M. (2024). Influence of water absorption on mechanical and morphological behaviour of Roystonea-Regia/banana hybrid polyester composites. *Applied Science and Engineering Progress*, 17(1), 7074. <https://doi.org/10.14416/j.asep.2023.10.003>.
- Rowe, J. (2012). *Advanced materials in automotive engineering*. Elsevier.

- Rubio, E., Blanco, D., Marín, M., & Carou, D. (2019). Analysis of the latest trends in hybrid components of lightweight materials for structural uses. *Procedia Manufacturing*, 41, 1047–1054. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.10.032>.
- Sahu, M., Patnaik, A., Sharma, Y. K., & Dalai, A. (2023). Physico-mechanical and tribological behaviour of natural fiber reinforced polymer composites: A short review. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.822>.
- Scelsi, L., Bonner, M., Hodzic, A., Soutis, C., Wilson, C., Scaife, R., & Ridgway, K. (2011). Potential emissions savings of lightweight composite aircraft components evaluated through life cycle assessment. *Express Polymer Letters*, 5(3).
- Sehgal, A. K., Juneja, C., Singh, J., & Kalsi, S. (2022). Comparative analysis and review of materials properties used in aerospace industries: An overview. *Materials Today: Proceedings*, 48, 1609–1613. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.498>.
- Shenoi, R. A., Dulieu-Barton, J. M. & Quinn, S. (2011). Composite materials for marine applications: key challenges for the future. *Journal of Composite Materials*, pp. 69-89.
- Siengchin, S. (2023). A review on lightweight materials for defence applications: Present and future developments. *Defence Technology*, 1–17.
- Sliwa, R. E., Balawender, T., Hadasik, E., Kuc, D., Gontarz, A., Korbel, A., & Bochniak, W. (2017). Metal forming of lightweight magnesium alloys for aviation applications. *Archives of Metallurgy and Materials*, 62.
- Sutherland, L. S. (2018). A review of impact testing on marine composite materials: Part I– Marine impacts on marine composites. *Journal of Composite Structures*, Volume 200, Pages 929-938.
- Tahir, N., Umar, A., & Abdullahi, I. (2022). Optimization of the mechanical properties of *Sterculia Setigera Delile* fibre epoxy composite using Taguchi methodology. *Advanced Research in Material Science*, 5, 33–42.
- Taşgın, Y., & Kandemir, S. (2023). Doğal Elyaf Takviyeli (Jüt-Keten-Kenevir) Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Metalografik Olarak İncelenmesi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 9(2), 240-249.
- Timmis, A. J., Hodzic, A., Koh, L., Bonner, M., Soutis, C., Schäfer, A. W., & Dray, L. (2015). Environmental impact assessment of aviation emission reduction through the implementation of composite materials. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(2), 233–243.

- Toğar, A., Baştuğ, B., Betgöl, C., & Kayabaşı, D. (2021). Hafif kompozit malzemelerin denizcilik endüstrisindeki önemi. *Denizcilik Araştırmaları Dergisi*, 34(2), 123-135. <https://doi.org/xxxx>.
- Yan, D., Ren, P., Pang, H., Fu, Q., Yang, M., & Li, Z. (2012). Efficient electromagnetic interference shielding of lightweight graphene/polystyrene composite. *Journal of Materials Chemistry*, 22(36), 18772. <https://doi.org/10.1039/c2jm32692b>.
- Zhang, W., & Xu, J. (2022). Advanced lightweight materials for automobiles: A review. *Materials & Design*. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110994>.

BITKİSEL YAĞ İLE BİRLEŞİK MODİFİKASYON İŞLEMİNİN KARAÇAM (*PİNUS NİGRA*) ODUNUNUN SU ALMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİSİ

Doç. Dr. Gonca DÜZKALE SÖZBİR

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi/Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu/ Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü,
goncaduzkale@gmail.com, ORCID NO: 0000-0002-0728-841X

ÖZET

Ağaç malzemelerin dayanıklılığını artırmak amacıyla emprenye işlemleri uzun yıllardır uygulanmaktadır. Ancak, zamanla ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, kullanılan emprenye maddelerinin insan sağlığına ve çevreye zararlı etkileri olduğu tespit edilmiştir. Günümüzde, çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyen emprenye maddelerinin tercih edilmesi giderek önem kazanmaktadır. Bitkisel organik yağlar, yenilenebilir kaynaklardan elde edildiği için fosil türevi emprenye kimyasallarına kıyasla daha çevre dostudur. Bitkisel organik yağlar, hem çevresel hem de teknik avantajlar sağlayarak ahşap işleme alanında önemli bir yer tutar. Özellikle çevre dostu alternatiflerin giderek daha fazla tercih edildiği günümüzde, bu tür yöntemler büyük bir değer taşır.

Bu çalışmada, karaçam odunu örnekleri kekik yağı ile emprenye edilmiş ve ardından bu örneklerle termal işlem uygulanarak, karaçam odunu örnekleri birleşik modifikasyona tabi tutulmuştur. Modifikasyona sonucunda karaçam odunu örneklerinin su alma ve kalınlık artımı miktarları ayrıca suda bekletmenin yoğunluk üzerine etkisi belirlenmiştir. Çalışmanın sonucuna göre, 5 gün boyunca su içerisinde bekletilen karaçam odunu örneklerinde en az su alma miktarı ve kalınlık artışı oranı emprenye işleminin ardından 5 saat termal muamele edilen örneklerden elde edilmiştir. Yoğunluk miktarını, emprenye işleminin arttırdığı, ısıl işlemin ise süre arttıkça azalttığı tespit edilmiştir. Suda bekletme sonrasında yoğunluk değerlerinde azalma belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karaçam, Emprenye, Isıl İşlem, Su Alma, Kalınlık Artımı

EFFECT OF MODIFICATION PROCESS COMBINED WITH VEGETABLE OIL ON WATER UPTAKING BEHAVIOR OF BLACK PINE (PINUS NIGRA) WOOD

ABSTRACT

Impregnation processes have been applied for many years to increase the durability of wood materials. However, with time and technological advancement, it has been determined that the impregnation materials used have harmful effects on human health and the environment. Today, it is increasingly important to prefer impregnation materials that do not harm the environment and human health. Since plant-based organic oils are obtained from renewable resources, they are more environmentally friendly compared to fossil-derived impregnation chemicals. Plant-based organic oils have an important place in the field of wood processing by providing both environmental and technical advantages. Especially today, when environmentally friendly alternatives are increasingly preferred, such methods are of great value.

In this study, black pine wood samples were impregnated with thyme oil and then thermal treatment was applied to these samples, and the black pine wood samples were subjected to combined modification. As a result of the modification, the water intake and thickness increase amounts of the black pine wood samples and the effect of soaking in water on density were determined. According to the results of the study, the least amount of water uptake and thickness increase rate in the larch wood samples kept in water for 5 days were obtained from the samples thermally treated for 5 hours after the impregnation process. It was determined that the impregnation process increased the density amount, while the heat treatment decreased it as the time increased. A decrease in the density values was determined after soaking in water.

Key Words: Black pine, Impregnation, Heat Treatment, Water uptake, Thickness Increase

1.GİRİŞ

Ahşap malzeme geçmişte kullanım ömrünün arttırılması amacıyla oldukça fazla petrol türevli kimyasallarla muamele edilmiştir. Fakat zamanın ilerlemesiyle ve bilginin artmasıyla birlikte, bu petrol türevli kimyasalların çevreye ve insan sağlığına olan zararlı etkileri belirlenmiştir. Bunun sonucunda çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyen odun koruma yöntemleri önem kazanmaya başlamıştır. Hem çevre dostu olması hem de insanlara zarar vermemesi nedeniyle organik yağlarla muamele ve odunun termal muamelesi dikkat çekmektedir.

Bitkisel yağlarla yapılan emprenye işlemi, ahşabın biyolojik direncini arttırmak ve su emilimini azaltmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Dmitrenkov ve ark., 2021). Ayrıca, odunun dayanıklılığını arttırmak için bitkisel yağlar, termal işlemle birleştirilebilir. Bu işlem sonucunda, odunun biyolojik bozunmaya karşı direncini arttırmakta ve fiziksel özelliklerini iyileştirmektedir. Farklı bitkisel yağların kullanılmasıyla, ahşap yüzey sertliğini artırdığı ve suya karşı koruma sağladığı gözlemlenmiştir (Lee ve ark., 2018).

Bitkisel yağlar, ahşap yüzeyin estetik görünümünü iyileştirir ve çevreye zarar vermeyen bir yöntem sunmaktadır. Doğal yağlarla yapılan işlemler, ahşapta dekoratif bir parlaklık ve renk tonunda iyileştirme sağlamaktadır. Keten yağı, soya yağı gibi farklı bitkisel yağlar, çevre dostu koruma yöntemleri arasında yer almaktadır (Lu, 2014). Bazı uçucu bitkisel yağlar, ahşap malzemeleri mantarlardan korumada etkili bir rol oynamaktadır. Özellikle kekik ve lavanta gibi yağlar, ahşap üzerinde mantar gelişimini engelleyici tutum sergileyerek, geleneksel ahşap koruma yöntemlerine çevre dostu bir alternatif sunmaktadır (Pánek ve ark., 2014).

Kekik yağı, içerdiği timol ve karvakrol gibi fenolik bileşikler sayesinde güçlü antifungal ve antibakteriyel özelliklere sahiptir. Özellikle ahşap malzemeleri mantar ve küf gibi biyolojik zarar vericilere karşı korumada etkili olmaktadır (Pánek ve ark., 2014).. Kekik yağı, odunun fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Su emilimini azaltmakta ve dayanıklılığını arttırmaktadır. Aynı zamanda dış mekan koşullarına karşı daha dirençli bir ahşap malzeme, elde edilmesini sağlamaktadır. Bir araştırma, kekik yağı ile yapılan emprenyenin odunun su geçirmezliğini artırdığını ve mekanik dayanıklılığına katkı sağladığını ortaya koymuştur (Sözbir ve ark., 2021). Kekik yağıyla yapılan ahşap muameleleri, çevre dostu bir seçenek sunmaktadır. Geleneksel kimyasal emprenye yöntemlerine kıyasla zehirli etkileri bulunmayan bu yöntem, sürdürülebilir ahşap koruma için önemli bir alternatif olarak kabul edilmektedir (Sanda ve ark., 1999). Kekik yağı, ahşap malzemelerin iç mekan uygulamalarında tercih edilen bir emprenye maddesi olarak hem dekoratif hem de koruyucu bir işlev görmekte, odunun doğal yapısını bozmadan mantar oluşumunu önlemektedir (Pánek ve ark., 2014).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Karaçam odunu (*Pinus nigra.*), Kahramanmaraş'ta bulunan ticari bir atölyesinden satın alınarak temin edilmiştir. Isıl işlem uygulanacak karaçam odunu örnekleri fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, 2x2x3 cm ölçülerinde kesilerek hazırlanmıştır. Kekik yağı ticari olarak satış yapan bir işletmeden alınmıştır. Örneklere uygulanacak emprenye ve termal işlem grupları Çizelge 1' de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Karaçam Odununa Uygulanan Modifikasyon Grupları

Grup	Daldırma (25 C°)	Sıcaklık (C°)	Süre (saat)
KK		—	—
D1	5 gün	150	1
D2	5 gün	150	2
D3	5 gün	150	3
D5	5 gün	150	5

Birleşik modifikasyon işlemine tabi tutulan karaçam odunu örneklerinin yoğunluk miktarları TS 2472'ye göre belirlenmiştir.

Kalınlık artımı yüzde olarak ifade edilmiştir ve aşağıdaki 1 nolu formülle hesaplanmıştır.

$$KA (\%) = \frac{aa2-aa1}{aa1} * 100 \quad (1)$$

Burada;

KA= Kalınlık artımı (%)

aa1: deney parçasının suya daldırmadan önceki kalınlığı(mm)

aa2: deney parçasının suya daldırmadan sonraki kalınlığı (mm)

Su alma miktarı ise 2 nolu formül ile hesaplanmıştır;

$$SA (\%) = \frac{bb2-bb1}{bb1} * 100 \quad (2)$$

Burada;

SA= Su alma miktarı (%)

bb1: deney parçasının suya daldırmadan önceki ağırlığı (mm)

bb2: deney parçasının suya daldırmadan sonraki ağırlığı (mm)

Elde edilen veriler, SPSS paket programında tek yönlü ANOVA analizi ve Duncan karşılaştırma testi yardımı ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çizelge 2 incelendiğinde birleşik modifikasyon işleminin karaçam odununun farklı sürelerdeki su alma miktarları üzerine etkisi verilmiştir. Birleşik modifikasyon işleminin karaçam odununun su alma miktarlarını, kontrol örneği ile karşılaştırıldığında tüm gruplarda azalttığı

görülmektedir. En fazla azalma kekik yağı ile emprenye edilen ve ardından en uzun süre termal işleme tabi tutulan D5 grubundaki örneklerde tespit edilmiştir. D5 grubu örnekleri tüm süreler baz alındığında, en az su alma miktarını sağlayan grup olduğu görülmüştür. Modifiye edilen tüm örnekler incelendiğinde termal süre arttıkça, su alma miktarının azaldığı saptanmıştır.

Yapılan bir araştırmada, atık ayçiçek yağıyla emprenye edilen huş ve kavak odunlarının su geçirmezlik özelliklerinin arttığını gözlemlenmiştir. Yapılan işlem, ahşap malzemenin su alma oranını ve kalınlık artışını önemli ölçüde azaltmıştır. İşlem, sıcak-soğuk emprenye yöntemiyle uygulanmış ve odunun su emilimini %52 oranında düşürmüştür (Bel'chinskaya ve ark., 2020; Dmitrenkov ve ark., 2021).

Çizelge 2. Karaçam Odununa Uygulanan Birleşik Modifikasyon Sonrası Su Alma Değerleri (%)

Grup	1 sa	5 sa	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün	5 gün
KK	63,262	5,821	11,759	21,561	25,945	28,608	40,481
D1	30,964	5,788	11,708	16,630	23,760	26,786	31,494
D2	30,708	4,917	10,056	15,624	23,432	26,388	27,912
D3	28,111	4,347	9,777	13,664	15,203	17,256	18,411
D5	22,097	3,937	9,203	13,180	14,385	15,824	17,471
<i>p value</i>	<i>p<0,000</i>	<i>p<0,001</i>	<i>p>0,05</i>	<i>p>0,05</i>	<i>p>0,05</i>	<i>p>0,05</i>	<i>p>0,05</i>

Karaçam odununa uygulanan birleşik modifikasyon sonrası kalınlık artımı değerleri Çizelge 3' de görülmektedir. Birleşik modifikasyona uğratılan karaçam odunu örneklerinin kalınlık artımı değerleri, kontrol örneği ile karşılaştırıldığında tüm gruplarda azalttığı saptanmıştır. En fazla azalma kekik yağı ile emprenye edilen ve ardından en uzun süre ısıl işleme tabi tutulan D5 grubundaki örneklerde belirlenmiştir. D5 grubu örnekleri her bir zaman dilimi baz alındığında, en az kalınlık artımı miktarı sahip grup olduğu tespit edilmiştir. Modifiye edilen tüm örnekler incelendiğinde, ısıl işlemin süresi arttıkça, kalınlık artımı miktarının azaldığı belirlenmiştir.

Yapılan farklı bir araştırmada, linseed yağı ile emprenye edilen ahşap malzemelerde su alma ve kalınlık artışında önemli azalmalar kaydedilmiştir. Bu tür bitkisel yağlarla yapılan yüzey kaplamaları, malzemenin nem direncini artırarak, ahşabın boyutsal stabilitesini iyileştirmiştir (Bouchikhi-Gérardin ve ark., 2019).

Çizelge 3. Karaçam Odununa Uygulanan Birleşik Modifikasyon Sonrası Kalınlık Artımı Değerleri (%)

Grup	1 sa	5 sa	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün	5 gün
KK	15,081	2,957	5,159	5,612	5,604	5,400	5,322
D1	10,532	2,395	3,506	3,597	3,853	3,640	4,045

D2	9,846	2,007	3,287	3,354	3,757	3,650	3,477
D3	8,644	1,995	3,080	3,158	3,136	3,180	3,470
D5	8,325	0,875	1,525	1,668	2,209	2,320	1,449
<i>p value</i>	<i>p<0,000</i>	<i>p<0,05</i>	<i>p<0,05</i>	<i>p<0,05</i>	<i>p>0,05</i>	<i>p>0,05</i>	<i>p>0,05</i>

Çizelge 4 incelendiğinde birleşik modifikasyon işleminin karaçam odununun yoğunlukları üzerine etkisi verilmiştir. Gruplar incelendiğinde özellikle emprenye işleminin yoğunlukları arttırdığı, termal işlemin süresi arttıkça yoğunlukların azaldığı tespit edilmiştir. Tüm gruplar, kontrol örneği ile karşılaştırıldığında, yoğunluk miktarlarının arttığı belirlenmiştir. En yüksek yoğunluk D1 grubu örneklerde bulunmuştur. Yağ emiliminin ahşabın ağırlığını artırması nedeniyle yoğunluğu da arttırdığı yapılan çalışmalarda vurgulanmıştır (Lee ve ark., 2018). Yapılan farklı çalışmalarda, emprenye sonrasında uygulanan ısı işleminin yoğunluğu azalttığı bulunmuştur (Sözbir ve ark., 2021). Sözbir ve Bektaş (2017), ısı işlem modifikasyonunun ahşabın yoğunluğunu azalttığını belirtmiştir.

Çizelge 4. Karaçam Odununun Birleşik Modifikasyon Sonrası Yoğunluk Değerleri(gr/cm^3)

Grup	Ortalama	Std. Sapma	Min.	Max.
KK	0,562	0,032	0,50	0,61
D1	0,640	0,033	0,58	0,70
D2	0,624	0,037	0,55	0,68
D3	0,622	0,030	0,58	0,67
D5	0,590	0,032	0,54	0,62
<i>p value</i>	<i>p<0,000</i>			

Modifiye edilen Karaçam odununun suda bekletme sonrası yoğunluk değerleri incelendiğinde, modifiye edilen grupların yoğunluklarının azaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 4). Bunun sebebinin, suda bekletme sırasında odunun yapısına tutunamayan kekik yağının odundan uzaklaşması olduğu düşünülmektedir. Bu uzaklaşmaya rağmen tüm grupların yoğunluklarının kontrol örneği yoğunluğundan fazla olduğu saptanmıştır. Bu durum birleşik modifikasyon işleminin, odunun yoğunluğunu kalıcı olarak arttırdığını ve odunun özelliklerini iyileştirdiğini göstermektedir.

Çizelge 5. Modifiye Edilen Karaçam Odununun Suda Bekletme Sonrası Yoğunluk Değerleri(gr/cm^3)

Grup	Ortalama	Std. Sapma	Min.	Max.
KK	0,573	0,032	0,51	0,61
D1	0,599	0,020	0,55	0,62
D2	0,585	0,037	0,51	0,64
D3	0,584	0,028	0,54	0,62
D5	0,582	0,027	0,53	0,61

p value $p > 0,05$

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Karaçam odununun kekik yağı ile emprenyesi ve ardından uygulanan ısıl işlem muamelesinin odununun fiziksel özellikleri üzerine etkisi sonucunda;

- Modifikasyon sonrasında karaçam odununun su alma değerleri, kontrol örneği ile karşılaştırıldığında 1. günden 5. güne kadar bu değerlerin emprenye ve termal işlem modifikasyonu ile azaldığı belirlenmiştir. Bu azalmanın en yüksek bulunduğu grup termal işlemin en uzun süre uygulandığı grupta saptanmıştır.
- Kontrol örneği ile karşılaştırıldığında, yapılan birleşik modifikasyon işlemi karaçam odununun suda bekletme sonucunda meydana gelen kalınlık artımı değerlerini, baz alınan her gün için azalttığı ve en az boyutsal değişimin en uzun süre termal işleme tabi tutulan gruplarda tespit edilmiştir.
- Yapılan birleşik işlemin karaçam odunu örneklerinde yoğunluk değişimi incelendiğinde, kekik yağı ile emprenye işleminin odunun yoğunluğunu arttırdığı belirlenmiştir. emprenyeli örnekler üzerine uygulanan termal işlem ise bir miktar yoğunluğu azaltıcı bir etkiye neden olmuştur.
- Birleşik işlemin karaçam odunu örneklerinde 5 gün suda bekletme sonrasındaki yoğunluk değişimi incelendiğinde, kontrol örneğine göre modifikasyonlu örnek yoğunluklarının yüksek olduğu ayrıca termal işlem sayesinde, kekik yağının odunun yapısına tutunduğu görülmüştür.

Yapılan işlemin çevre ve insan sağlığına zararlı etkisi olmayan işlem ve bitkisel yağ ile muamelesinin, odunun fiziksel özelliklerinden su alma davranışını iyileştirdiği ve yoğunluğunu arttırdığı yapılan çalışmadan anlaşılmaktadır.

KAYNAKÇA

- Bel'chinskaya, L. I., Dmitrenkov, A., & Zhuzhukin, K. (2020). Comparison of efficiency of natural and synthetic impregnating compositions for birch wood. *Materials Science*, 8(1), 193–198. https://app.scholarai.io/paper?paper_id=SS_ID:239d57f0f586133b65022783d0583805fc9e2d43.

- Bouchikhi-Gérardin, A., Brizou, A., Becquart, F., Abriak, N., & Garcia-Diaz, E. (2019). Comparative study of different linseed oil treatments on wood and hemp. *International Conference on Bio-Based Materials*, 9, 36–42. https://app.scholarai.io/paper?paper_id=SS_ID:827c64735d4df45ded53fb281579164e34934445.
- Dmitrenkov, A., Nikulina, N., Nikulin, S., & Vostrikova, G. (2021). Ways to improve the properties of natural wood when using waste vegetable oils. *Environmental Research Advances*. Retrieved from https://app.scholarai.io/paper?paper_id=SS_ID:6953e3d9d5815977ed7a82a2aeffe449492f384c.
- Lee, S. H., Ashaari, Z., Lum, W. C., Halip, J., Ang, A., Tan, L. P., & Chin, K. (2018). Thermal treatment of wood using vegetable oils: A review. *Construction and Building Materials*. http://umkeprints.umk.edu.my/10562/1/Thermal%20treatment%20of%20wood%20using%20vegetable%20oils_a%20review.pdf.
- Lu, Z. (2014). High-gloss environment-friendly natural wood oil and preparation method thereof. *Journal of Eco-Friendly Technologies*. Retrieved from https://app.scholarai.io/paper?paper_id=SS_ID:be71733eb997f6c1385f57c732e2adb9a1b1dc38.
- Pánek, M., Reinprecht, L., & Hulla, M. (2014). Ten Essential Oils for Beech Wood Protection - Efficacy Against Wood-destroying Fungi and Moulds, and Effect on Wood Discoloration. *BioResources*, 9(3), 5588-5603. https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2016/06/BioRes_09_3_5588_Panek_RH_Essential_Oils_Wood_Protection_5577.pdf.
- Sözbir, G. D., and Bektaş, İ. B. (2017). “The effect of heat modification and densification on physical properties of poplar wood,” *Drvna industrija: Znanstveni Časopis za Pitanja Drvne Tehnologije* 68(4), 315-321. DOI: 10.5552/drind.2017.1719
- Sözbir, G. D., Bektas, I., Ak, A., & Erkan, S. (2021). Pine Wood Modification via an Antifungal Oil – Heat Treatment and its Effect on Annual Wood Rings. *BioResources*, 16(3), 4731-4742. https://app.scholarai.io/paper?paper_id=SS_ID:56eb0e5c5a6af64797afcfafeff1871f7429de7.
- Sanda, K., Koba, K., Walla, B., Akpagana, K., Garneau, F., Gagnon, H., & Jean, F. (1999). *Aeollanthus pubescens* Benth. A Potential Source of Thymol-rich Essential Oil. *Journal of Essential Oil Research*. https://app.scholarai.io/paper?paper_id=SS_ID:5e9e2307f6f1c2a393412434a726ea75462ad672.

KOMPOZİT MALZEMELERDE LAZER AŞINDIRMA İŞLEMİNİN SAYISAL ANALİZ İLE İNCELENMESİ¹

Öğr. Gör. Hasan İlker ÇELİKER

Kocaeli Üniversitesi/Havacılık Bilimi ve Teknolojileri ABD, İstanbul Gelişim Üniversitesi,
hasanilkercheliker@gmail.com - 0000-0001-7745-3161

Doç. Dr. Belgin GENÇ ÖZTOPRAK

Kocaeli Üniversitesi/Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi,
genc13@gmail.com - 0000-0002-4735-3992

ÖZET

Kompozit malzemeler, günümüz havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Uçağın bakım onarımında, yüzey boyasının düzenli olarak temizlenmesi ve yeniden boyanması gereklidir. Üstün performans ve hafiflik özellikleri nedeniyle tercih edilen kompozit malzemelerde, lazer ile aşındırma teknolojisi kullanılarak yüzeyden temizleme yapılmaktadır. Lazerle boya aşındırma mekanizması termal bir süreç olup, boya yüzeyi ısılandıktan sonra, kaplama lazer enerjisini emerek alt tabaka yüzeyinden hızla ayrışmasıyla gerçekleşir. Yapılan işlemdeki en önemli faktör, malzeme yüzeyinde veya içinde emilen sıcaklık artışıdır. Sıcaklık artışı anlık olduğundan deneysel çalışma öncesinde, kullanılacak lazer parametreleri ve malzemeler arasındaki etkileşim sonlu elemanlar yöntemi metodu kullanılarak incelendi.

Malzemedeki karbon elyaf takviyeli polimer üzerinde boya tabakası mevcuttur. Çalışmanın amacı, farklı lazer tarama hızları altında boya aşındırma işlemi sırasında, meydana gelen sıcaklık dağılımını ve termal deformasyonu inceleyerek, yapılacak temizleme çalışması için ana malzemeye zarar gelmeden en uygun lazer parametrelerinin seçilmesini sağlayabilmektir. Parametrelerin yanlış ayarlanması, fiberlerin zarar görmelerine sebep olabilir. Yapılan çalışmada farklı lazer gücü ve tarama hızlarında analizler gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen analizler sonucunda, kullanılan lazerin özelliklerine bağlı olarak yüksek hız ve güçlü lazer ışınının boya aşındırma işlemi gerçekleştirmesinin yanı sıra ana malzemeye de hasar verdiği ve termal deformasyon meydana geldiği gözlenmiştir. Lazer ile boya aşındırma işlemi için lazerin gücü, lazerin boyayı aşındırma hızı ve frekans parametrelerinin ayarlanması için ön çalışma gerçekleştirilmiştir.

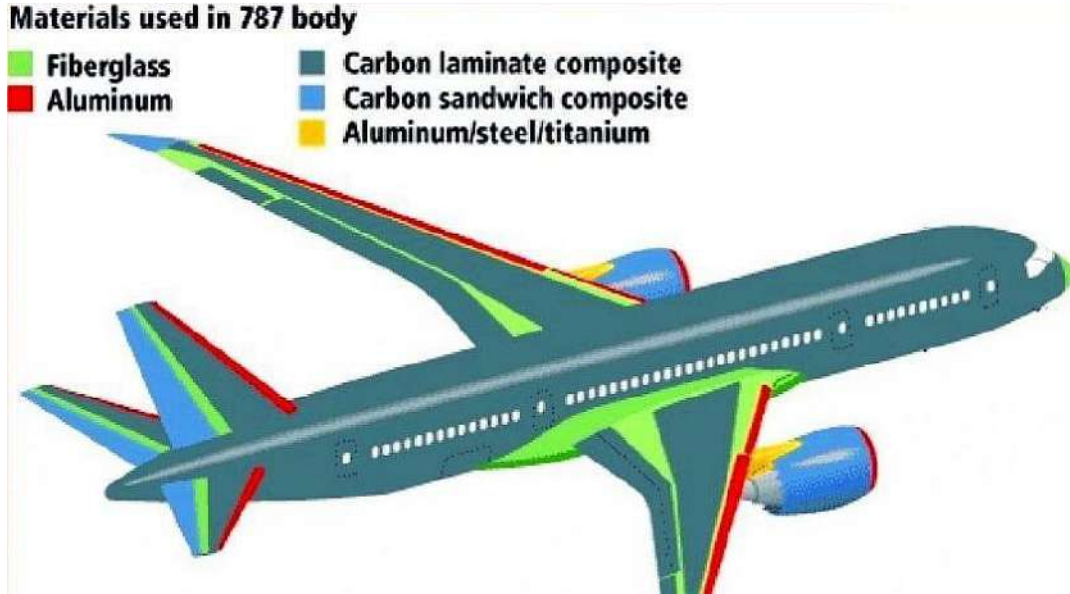
Anahtar Kelimeler: Kompozit Malzemeler, Boya Aşındırma, Nümerik Simülasyon, CFRP

1. GİRİŞ

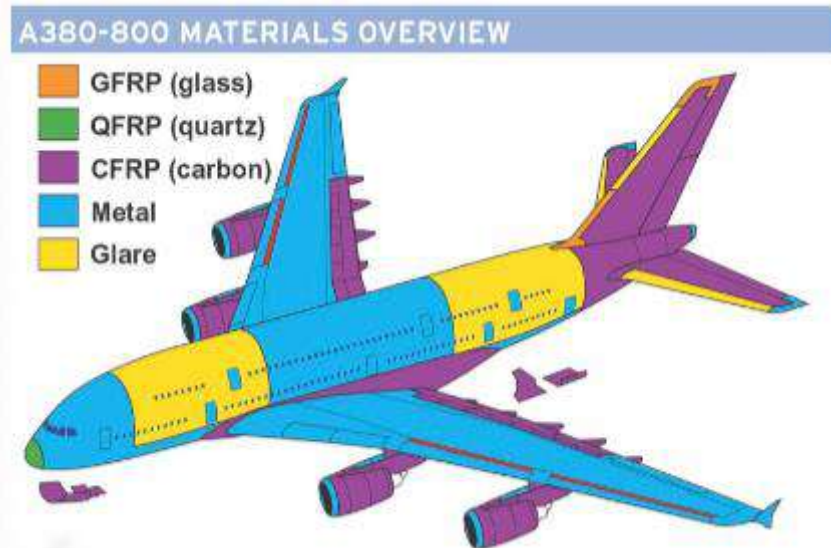
Karbon elyaf takviyeli polimer kompozitler (CFRP), olağanüstü özgül mukavemet, özgül sertlik ve yorulma direnci nedeniyle havacılık ve uzay üretiminde yaygın olarak

uygulanmaktadır. Aynı zamanda, CFRP yüzeylerinden boya aşındırma işlemi daha önce görülmemiş bir ilgi görmektedir. Lazerle temizleme şu anda ağırlıklı olarak havacılık alüminyum alaşımlı malzemelerine odaklanmıştır ve iyi temizleme sonuçları elde etmiştir. Kompozit malzemeler için lazerle temizleme konusundaki araştırmalar hala sınırlıdır [1].

Bu çalışmanın amacı, farklı lazer tarama hızları altında boya aşındırma işlemi sırasında, meydana gelen sıcaklık dağılımını ve termal deformasyonu inceleyerek, yapılacak temizleme çalışması için ana malzemeye zarar gelmeden en uygun lazer parametrelerinin seçilmesini sağlayabilmektir.



Görsel 1. Boeing 787 Uçak gövde yapısında kullanılan malzemeler [2]



Görsel 2. A380-800 Uçak gövde yapısında kullanılan malzemeler [3]

Şimdiye kadar, kompozit yüzeylerin lazerle temizlenmesi esas olarak uçak kaplaması onarım ve bakımında rapor edilmiş ve bu alanda ilk ilerlemeler kaydedilmiştir [4].

Zhan X ve arkadaşları, lazer yüzey temizliğinin CFRP'nin yüzey mikroyapısı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Lazer parametrelerinin yüzey morfolojisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve elde edilen sürekli ve sağlam CF'lerin yapışkan bağlanma lehine olduğu belirtilmiştir [4].

Zhao ve diğerleri, CFRP yüzeylerinden boyayı çıkarmak için lazerle boya çıkarma işleminin uygulanabilirliğini doğrulamak için nanosaniye lazer kullanmıştır. Ayrıca CFRP'nin mekanik özelliklerinin ve yüzey ıslanabilirliğinin iyileştirildiği bulunmuştur [5].

He tarafından, karbon fiberler ve reçine matrisi arasındaki ısı transfer sürecini simüle etmek için, heterojen bir fiber-matris ağ modeli üzerinde malzeme kaldırma için sonlu elemanlar yöntemine dayanan sayısal bir model kurulmuştur. Yazar, lazer enerji yoğunluğunun, nokta örtüşme oranının ve bitişik tarama aralığının malzeme kaldırma ve alt tabaka tepe sıcaklığı üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Sonuçlar, darbeli lazer boya çıkarma işlemi sırasında reçine tabakası ve heterojen malzeme üzerinde iki yüksek sıcaklık bölgesinin oluştuğunu göstermektedir. Ek olarak, alt tabakanın sıcaklık artışı, bitişik darbe enerjisinin süperpozisyonu ile önemli ölçüde artırılabilir [6].

CFRP malzemelerin ve kaplamaların farklı termal özellikleri nedeniyle, lazer ışınlanması ısı emilimini, ısı transferini ve ısıdan etkilenen bölgeyi (HAZ) farklı derecelerde etkiler. Yanlış ayarlanmış lazer parametreleri kolayca fiber etkileşimine neden olabilir [6].

2. MALZEME VE YÖNTEM

Araştırma nesnesi olarak Çizelge 3'de gösterilen 40 µm kalınlığında CFRP yüzeyli üç boyutlu yapı seçilmiş ve modelde kullanılan boyutlar 150 µm × 150 µm × 50 µm olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 1. Boya ve CFRP için termo-fiziksel özellikler

Malzeme Parametreleri	Boya	Karbon Fiber
Yoğunluk (kg/m ³)	1450	1850
Özgül ısı (J/kg.K)	2500	710
Termal iletkenlik (W/m.K)	0.3	50 (paralel), 5 (dik)
Absorbsiyon katsayısı (1/m)	8.9x10 ⁴	
Ayrışma sıcaklığı (°C)	450	850

Çalışmada kullanılacak olan nanosaniye fiber lazerin özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Nanosaniye Fiber Lazer Teknik Özellikleri

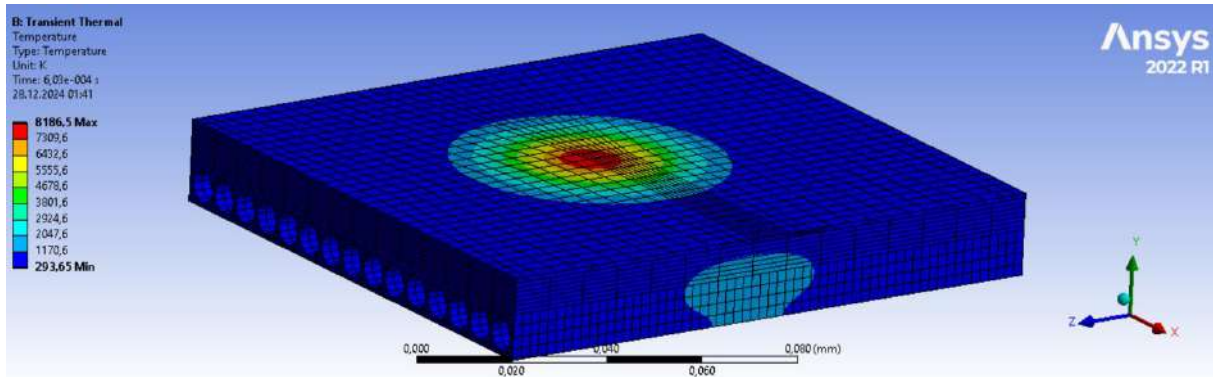
Lazer Parametresi	Değer
Dalga boyu	1064 nm
Frekans	80 kHz
Darbe genişliği	100 ns
Ortalama Güç	50 W
Tarama Hızı	1500 mm/s

Yapılan çalışmada hız ve güç parametrelerinde değişiklik yapılarak, modelde meydana gelen ısı dağılımları ve termal deformasyonlar incelenmiştir. Kullanılan parametreler Tablo 3’de gösterilmiştir.

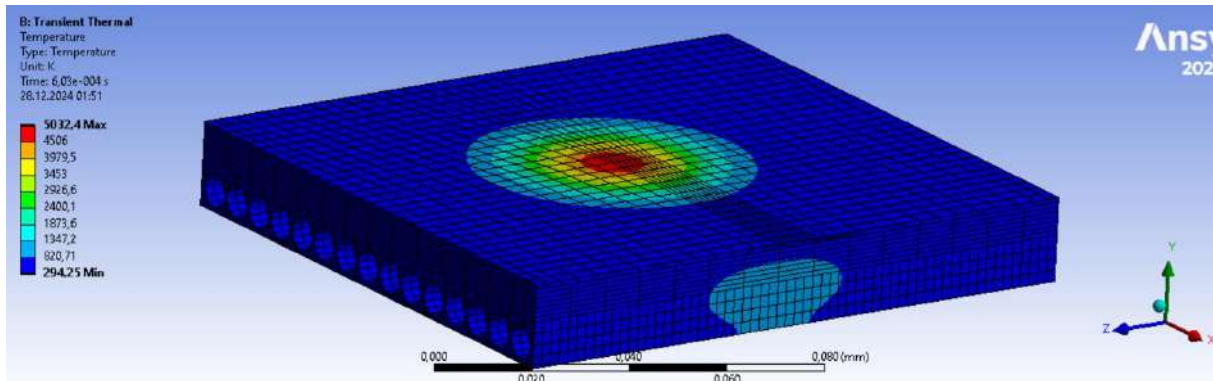
Çizelge 3. Kullanılan Lazer Parametreleri

Örnekler	Tarama Hızı (mm/s)	Güç (W)	Birikmiş Lazer Akıcılığı (J/cm ²)
A1	100	50	2251
A2	100	30	1351
A3	100	10	450
A4	500	50	450
A5	500	30	270
A6	500	10	90
A7	1000	50	225
A8	1000	30	135
A9	1000	10	45
A10	1500	50	150
A11	1500	30	90
A12	1500	10	30

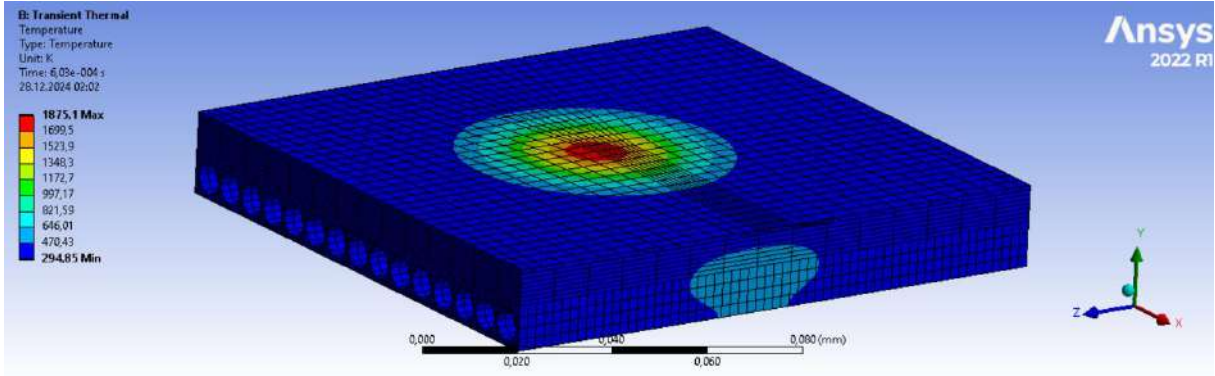
Örnekler üzerinde yapılan analiz çalışmasında elde edilen sonuçlar görsellerde verilmiştir.



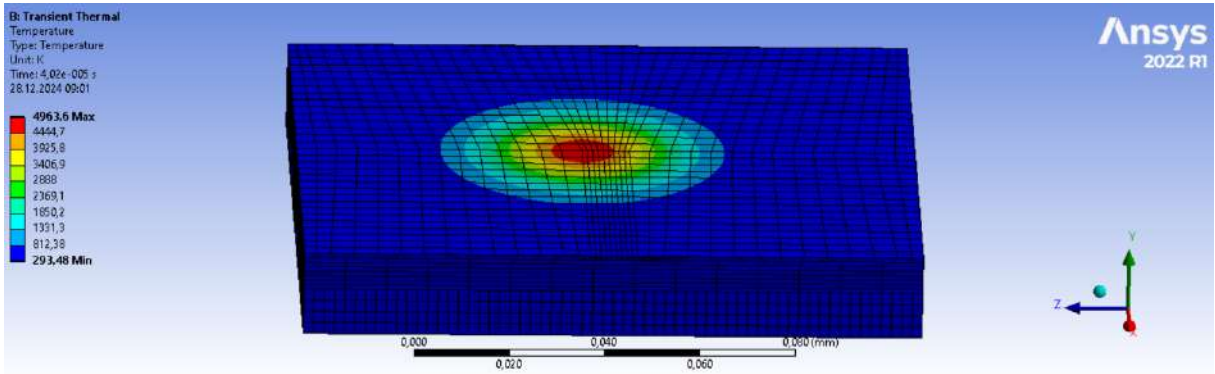
Görsel 3. 100 mm/s tarama hızı ve 50 W güçte tek atımda meydana gelen sıcaklık dağılımı



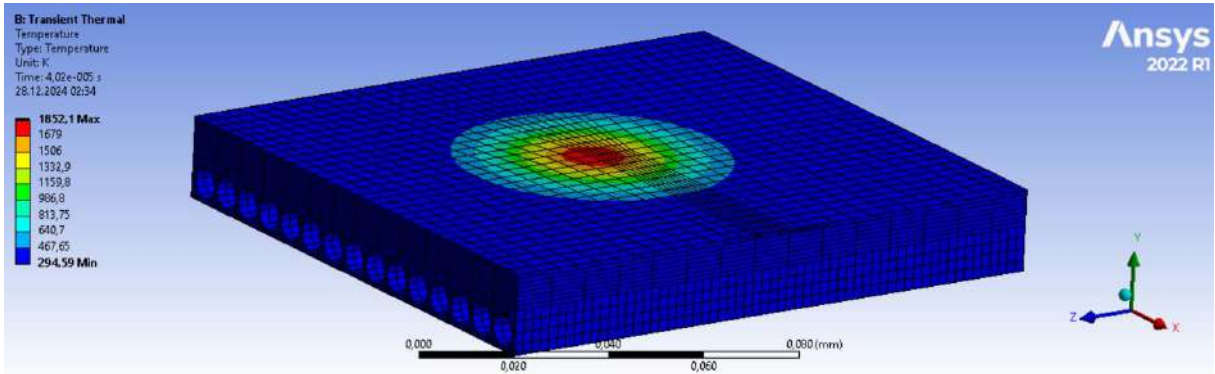
Görsel 4. 100 mm/s tarama hızı ve 30 W güçte tek atımda meydana gelen sıcaklık dağılımı



Görsel 5. 100 mm/s ve 10 W güçte tek atımda meydana gelen sıcaklık dağılımı



Görsel 6. 1500 mm/s ve 30 W güçte tek atımda meydana gelen sıcaklık dağılımı



Görsel 7. 1500 mm/s ve 10 W güçte tek atımda meydana gelen sıcaklık dağılımı

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Ansys programında yapılan tek atımlı analizde görülmüştür ki, aynı tarama hızında lazer gücü azaldıkça, malzemeye etki eden sıcaklıkta azalma meydana gelmektedir. Malzemeye etki eden sıcaklık en yüksek 8186,5 K olarak 100 mm/s ve 50 W güçte gerçekleşmiş, en düşük sıcaklık 1500 mm/s hız ve 10 W güçte gözlenmiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, boya aşındırma mekanizması için kullanılacak olan lazerin parametrelerinde değişiklik yapıldığında, boyaya etki eden sıcaklıkta değişiklik gözlemlendiği saptanmıştır.

KAYNAKÇA

1. Junyi Gu, Xuan Su, Wengin L, Yang Jin, Jie Xu, Bin Guo, Process and Mechanism of Paint Stripping on CFRP by UV Nanosecond Laser, Optics & Laser Technology, Vol. 171, 2024.
2. Savunma Bilimleri Dergisi The Journal of Defense Sciences Kasım/November 2015, Cilt/Volume 14, Sayı/Issue 2, 77-109.
3. <https://www.flightglobal.com/creating-a-titan/60787.article> , 07.05.2020
4. Gao Q., Li Y., Wang H., Liu W., Shen H., Zhan X., (2019), Effect of Scanning Speed with UV Laser Cleaning on Adhesive Bonding Tensile Properties of CFRP, Applied Composite Materials Volume 26.
5. Z. Zhao, X. Liu, J. Yang, W. Pan, Y. Li, F. Liang, Y. Tian, L. Liu, F. Song, (2023), Shape evolution and characteristics of carbon fiber reinforced polymer surface in laser ablation, Vacuum Volume 217.
6. Yang H., Liu H., Gao R., Liu X., Yu X., Song F., (2022), Numerical simulation of paint stripping on CFRP by pulsed laser, Optics and Laser Technology Volume 145.

DENİZ KABUĞU KULLANIMININ SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ SİR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Beste Bultan TUNA

Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.,
beste.tuna@creavit.com.tr - 0000-0002-6097-3002

İrem ALTINOK

Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.,
irem.altinok@creavit.com.tr - 0000-0001-9217-6502

Sezer KULLUK

Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.,
sezer.kulluk@creavit.com.tr - 0009-0009-9631-5368

Orçun ZIRTIL

Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.,
orcun.zirtil@creavit.com.tr - 0009-0007-4277-5049

Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
fcaliskan@subu.edu.tr - ORCID ID 0000-0002-9568-7049

ÖZET

Seramik sağlık gereçleri (SSG) ürünleri, banyolarda ve diğer hijyenik alanlarda kullanılmak üzere tasarlanmış, seramik malzemelerden yapılan, klozet, lavabo, hela taşı, pisuvar ve bide gibi malzemeleri barındıran ürün grubunu temsil etmektedir. SSG üretiminde inorganik yapıya sahip olan kil, kaolen, feldspat ve kuvars ana bileşenlerini içeren SSG bünye ve bu bünyenin üzerinde feldspat, kuvars, zirkon, çinko vb. hammaddelerin kullanıldığı camsı faza sahip çok daha ince bir katman olan SSG sırası bulunmaktadır. Camsı fazın oluşumunda CaO kaynağı olarak sıklıkla kalsit kullanılır. Bunun sebebi ise, pişirim esnasında kalsiyumun sıran ergime sıcaklığını düşürmesi, uniform bir yüzey dağılımı oluşmasına katkısı ve kimyasal olarak stabilite sağlamasıdır. Bu çalışmada ticari olarak temin edilen deniz kabuğunun karakterizasyonu

yapılmıştır. SSG sır reçetesinde CaO kaynağı olarak kalsit yerine deniz kabuğu kullanımı araştırılmıştır. Standart bir reçete fazı içerisindeki kalsit ve deniz kabuğu kullanılarak dört farklı reçete oluşturulmuştur. Bu SSG reçetelerinden benzer tane boyut dağılımlarına sahip sır kompozisyonları hazırlanmıştır, tane boyut dağılımları ise lazer difraksiyonu partikül boyut analiz cihazı ile analiz edilmiştir. Ergime özellikleri ısı mikroskobu, termal genleşme özellikler ise dilatometre vasıtasıyla tayin edilmiştir. Vitrikiye bünye üzerine sabit sır kalınlığında sırlanan plakaların renk, parlaklık (gloss) ve yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir ayrıca sır akma rampası kullanılarak sır akma performansları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Seramik sağlık gereçleri, deniz kabuğu, kalsit, alternatif hammadde.

1. GİRİŞ

Seramik Sağlık Gereçleri (SSG) tüm kamusal alanlarda, evlerde yer alan ve günlük hayatın temel ihtiyaçlarından birini karşılama amacıyla kullanılan ürün gruplarını kapsamaktadır. Klozet, lavabo, pisuvar, hela taşı gibi ürünleri içeren bu grup, inorganik malzemelerden oluşan bir Seramik Sağlık Gereçleri Bünye (SSG Bünye) ve Seramik Sağlık Gereçleri Sırı (SSG Sırı) içeren bir yapıya sahiptir. SSG Bünye, ürünün ana kütleini ve iskeletini oluştururken; SSG Sırı ise SSG bünye üzerine uygulanan ince bir camsı katmanı temsil etmektedir. SSG bünyesinde kullanılan hammaddeler kil, kaolen, feldspat ve silis kumu; SSG sırında kullanılan hammaddeler ise feldspat kuvars, zirkon, çinko vb. olup, camsı faz oluşumunda da CaO kaynağı olarak genellikle kalsit kullanılmaktadır [1-2].

Deniz kabukları, özellikle kalsiyum karbonat, kalsiyum fosfat ve silis dioksit gibi mineraller bakımından zengindir. Bu mineraller, seramik sırlama işlemlerinde kullanıldığında, sıvı ve katı bileşenlerin sinerjik etkileşimlerini değiştirerek seramiklerin yüzey yapısını ve özelliklerini iyileştirebilir. Deniz kabuklarının bu mineral içerikleri, seramik sırlara eklenerek daha pürüzsüz, dayanıklı ve estetik yüzeyler elde edilmesine yardımcı olabilir. Kalsiyum karbonat gibi bileşikler, özellikle biyolojik uyumluluk açısından önemli olup, seramiğin hücrelerle etkileşimini olumlu yönde etkileyebilir [2].

Deniz kabukları, seramik sağlık gereçlerinde sırlama malzemesi olarak kullanıldığında, sırlı yüzeyin kimyasal bileşenlerini değiştirir ve bu da sırlı yüzeyin fiziksel ve biyolojik özelliklerini iyileştirebilir. Deniz kabuğundan elde edilen kalsiyum karbonat, sıvı ve katı fazlar arasındaki etkileşimleri optimize ederek seramiğin daha güçlü ve homojen bir sıvı tabakaya sahip olmasını sağlar [2]. Ayrıca, deniz kabukları seramik sırlara antibakteriyel özellikler de kazandırabilir. Kalsiyum karbonatın yüzey yapısındaki değişiklikler, bakteri ve diğer mikroorganizmaların yüzeyde tutunmasını zorlaştırır, bu da seramiğin hijyenik özelliklerini artırır [3].

Sırlı seramiklerin yüzey pürüzlülüğü, mikroorganizmaların tutunması ve enfeksiyon riskinin azaltılmasında önemli bir rol oynar. Deniz kabukları, sırlı yüzeyin pürüzlülüğünü ve sertliğini artırabilir, bu da bakteri ve mikroorganizmalara karşı daha dirençli yüzeyler oluşturur. Ayrıca, deniz kabukları seramiklerin daha estetik bir görünüme sahip olmasına da katkıda bulunur, çünkü sırlı yüzeyde doğal bir parlaklık ve şeffaflık yaratabilir [4].

Ayrıca, deniz kabuklarından elde edilen kalsiyum karbonat ve diğer mineraller, seramiklerin antibakteriyel özelliklerini de güçlendirebilir. Özellikle, bakteri kolonizasyonunu engelleyerek enfeksiyon risklerini azaltan deniz kabuğu bileşenleri, tıbbi uygulamalarda seramiklerin daha güvenli hale gelmesini sağlar. Şu anda yapılan çalışmalar, deniz kabuğu katkılı seramiklerin antibakteriyel etkinlik gösterdiğini ve bakterilerin çoğalmasını engellediğini göstermektedir [5]

Deniz kabukları, başta gıda sektörüne olmak üzere atıkların değerlendirilmesi açısından önemli bu duruma sahiptir. Kalsiyum Oksit (CaO) kaynağı olarak kullanılan kalsit, pişirim prosesinde ergime sıcaklığını düşürerek enerji verimliliği sağlamak hem de kimyasal olarak stabilize sağlamak vb. özellikler olmak üzere birçok katkısı bulunmaktadır. Bu çalışmada standart bir SSG sırında kalsit yerine alternatif bir hammadde olarak deniz kabuğu kullanılmıştır. Bu camsı faz hem estetik bir görüntü kazandırırken hem de hijyen özelliği kazandırmaktadır Bu özellikler son zamanlardaki yenilikçi başarıların arasında yer almaktadır. Böylece kalsit ve deniz kabuğu kombinasyonlarının kullanıldığı reçetelerde sırnın hazırlama işlemlerinde kullanılan değirmen fazında benzer tane boyut dağılımlarının elde edilmesi, ergime sıcaklıkları, termal genleşme özellikleri incelenmiştir [6].

Ayrıca hazırlanan sır reçeteleri SSG bünye üzerine eş kalınlıklarda uygulanmış ve yüzey özellikleri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme renk, parlaklık (gloos), yüzey pürüzlülüğünü içermekle birlikte pişme esnasında sır akma davranışları ise sır akma rampası vasıtasıyla

incelenmiştir. Böylede SSG sırlarında CaO kaynağı olarak kalsit yerine deniz kabuğu kullanılması karşılıklı olarak değerlendirilmiştir. Böylece günümüzün en önemli konu başlıklarından biri olan sürdürülebilir hammadde arayışları çerçevesinde SSG sektörü başta olmak üzere tüm seramik sektörüne alternatif bir hammadde kazandırılması hedeflenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada SSG sır reçetelerinde kalsit yerine deniz kabuğunun kullanımına yönelik deneysel analizler gerçekleştirilmiştir. Öncelikle ticari olarak temin edilen deniz kabuğunun kimyasal karakterizasyonu Rigaku ZSX PrimusIV ile mineralojik karakterizasyonu ise Malvern Panalytical Aeris ile yapılmıştır. Karakterizasyonu yapılan deniz kabuğu, öncelikle öğütme işlemine tabi tutulmuştur ve standart bir seramik sağlık gereçleri referans reçetesinde %15 oranında kullanılan kalsit yerine %5, %10 ve %15 oranlarında kullanılarak şahit ile birlikte dört farklı SSG sır kompozisyonu elde edilmiştir. Sır kompozisyonlarının hazırlanmasında da uygulanan öğütme işlemi Öğütme işlemi, Ceramic Instruments marka SD/2 1000 model jet değirmenlerde gerçekleştirilmiştir. Öğütme sonrasında, 100 x 150 mm boyutlarında kurutulmuş vitrifiye bünye yüzeyine pistole yöntemiyle sır uygulanmıştır. Sırlama işlemi tamamlanan plakalar, işletme koşullarında tünel fırında pişirilmiştir. Pişirilen plakaların renk ve parlaklık (gloss) ölçümleri, Konica Minolta marka CM-26dG model cihaz ile 10°/D65 SCI ölçüm yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

Isıl genleşme değerlerinin belirlenmesi için, değirmenden alınan sırlardan hazırlanmış dilatometre çubukları ile plakalar birlikte pişirilmiştir. Isıl genleşme ölçümleri, NETZSCH marka DIL 402 Expedis CL model dilatometre ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, değirmenden elde edilen sırlardan kurutulmuş örnekler kullanılarak sırnın ergime sıcaklıkları, ELS marka MV model Isı Mikroskobu/Optik Dilatometre cihazıyla tespit edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

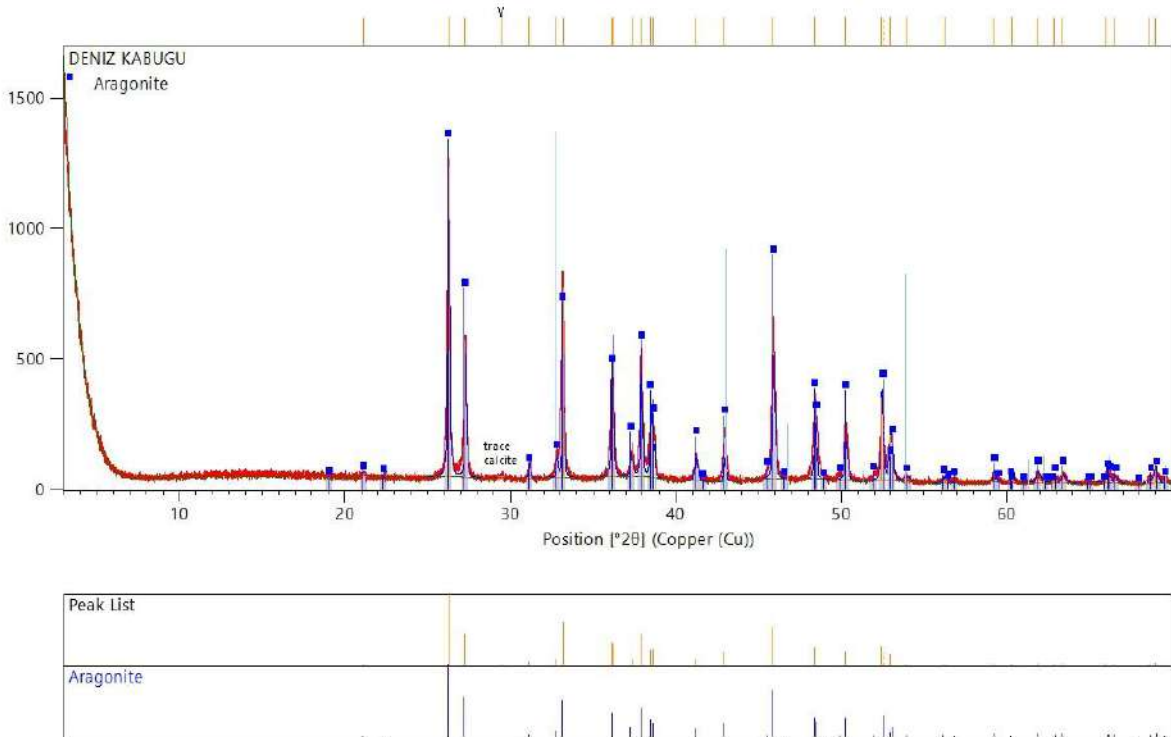
SSG sırlarından kullanılan kalsit hammaddesinin ve ticari olarak elde edilen deniz kabuğunun ve kimyasal karakterizasyonu yapılmıştır (Çizelge 1). CaO oranı kalsit içerisindeki orana

benzer şekilde %52,61 çıkarken, silika, alümina ve MgO oranlarında bir miktar farklılık görülmüştür. Hazırlanan reçetelerde bu değişimler göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelge 1. Kalsit ve Ticari olarak edilen Deniz Kabuğunun Kimyasal Karakterizasyonu.

Numune	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃	LOI
Kalsit	0,19	0,09	0,068	55,69	0,68	0	0,01	43,21
Deniz Kabuğu	1,32	0,57	0,017	52,61	0,05	0,34	0,03	44,82

Deniz kabuğuna yapılan X ışınları kırınım analizi sonucu incelendiğinde kalsiyum karbonatın (CaCO₃) en yaygın formlarından biri olan Aragonite rastlanılmıştır (Görsel 1.). Aragonite referans kartındaki piklerle, deniz kabuğuna ait pikler örtüşmüştür.

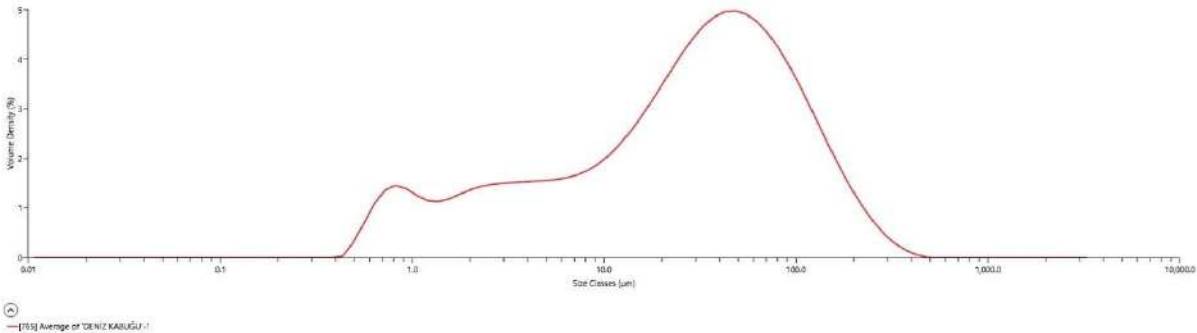


Görsel 1. Ticari olarak edilen deniz kabuğunun XRD analizi ile karakterizasyonu.

Ticari olarak temin edilen deniz kabuğunun öğütülmesi ile ilgili olarak öğütme ortamı alümina bilya olan jet değirmen kullanılmış olup 60 dk'lık öğütme işlemine tabi tutulmuş ve tane boyut dağılımı ölçülmüştür. (Çizelge 2, Görsel 2). Tane boyutu genel olarak reaksiyona girecek yüzey alanını etkilemesi, sırlamada renk, parlaklık vs özellikleri etkileyebildiği için önceki çalışmalardan elde edilen tecrübelerle dayanılarak Çizelge 2'de verilen özelliklere öğütülmüştür. Görsel 2'de öğütülen deniz kabağı tozlarına ait tane boyut dağılım histogramı verilmiş olup, trimodal boyut dağılımı ve kümelenmesi gözlenmiştir. 1 mikron, 2-3 mikron ve 100 mikron civarı olan boyutsal yığılmalar genel olarak geniş bir boyut dağılımını göstermiştir. Bununla birlikte submikron boyutlara inildiği zaman ekstra bir önlem alınmazsa “fresh surface” etkisi olarak bilinen yapışma temayülü sebebiyle incelen tozların bir birine yapışması da lazer ölçüm yöntemlerinde çözünememe durumunda yeni bir iri tane olarak görülebilir. 100 mikronluk taneler bu duruma atfedilebilir.

Çizelge 2. Ticari olarak edilen Deniz Kabuğunun Öğütme İşlemi Sonundaki Tane Boyut Dağılım Verileri.

Numune	Sarj Süresi (dk.)	Tane Boyut Dağılımı		
		d(0,1)	d(0,5)	d(0,9)
Deniz Kabuğu	60	1,83	30	118



Görsel 2. Ticari Olarak Edilen Deniz Kabuğunun Tane Boyut Dağılım Grafiği.

Standart bir SSG sınırının Referans olarak tanımlandığı ve içerisinde %15 kalsit içerdiği göz önünde bulundurulduğunda, kalsit miktarının azaltıldığı deniz kabağı miktarının artırıldığı toplam dört kompozisyon hazırlanmıştır (Çizelge 3).

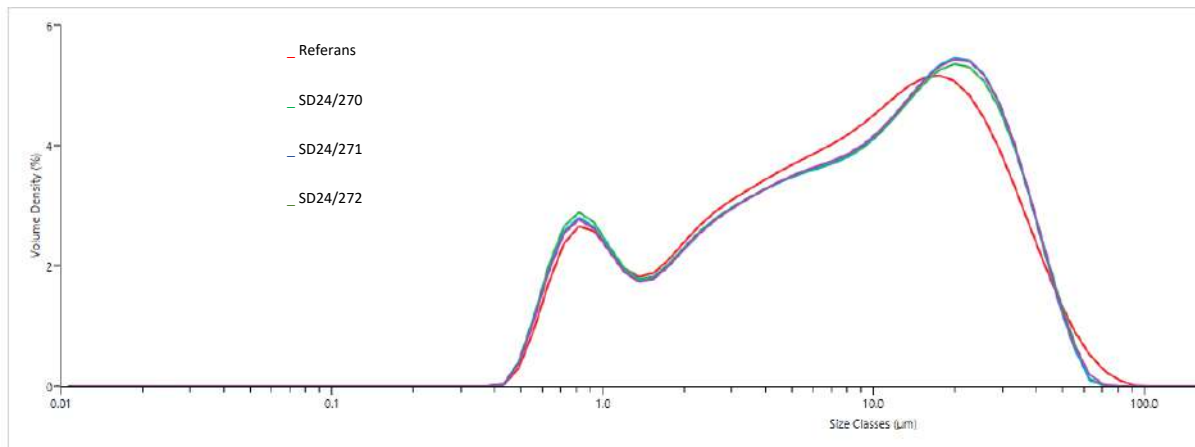
Çizelge 3. Reçete Kompozisyonları.

	Referans (%)	SD24/270 (%)	SD24/271 (%)	SD24/272 (%)
Reçete Fazı	85	85	85	85
Kalsit	15	10	5	-
Deniz Kabuğu	-	5	10	15
Toplam	100	100	100	100

Hazırlana reçete kompozisyonlarının homojen hale getirilmesi amacıyla yapılan öğütme işlemi sonundaki öğütme koşulları ve tane boyut dağılımları belirlenmiştir. Tüm reçete kompozisyonlarına eş miktarda sarj süresi verilmiş olmasına rağmen, benzer tane dağılımları gözleniş olmasına rağmen, referans sıranın tane boyut dağılımının nispeten daha düşük olduğu gözlenmektedir (Çizelge 4.)

Çizelge 4. Hazırlanan Sır Kompozisyonlarının Öğütme İşlemi Sonundaki Tane Boyut Dağılım Verileri.

Numune	Sarj Süresi (dk.)	Tane Boyut Dağılımı		
		d(0,1)	d(0,5)	d(0,9)
Referans	30	1,07	8,33	30,3
SD24/270	30	0,995	8,33	30,8
SD24/271	30	1,02	8,76	30,7
SD24/272	30	1,03	8,82	30,9



Görsel 3. Hazırlanan Sır Kompozisyonlarının Tane Boyut Dağılım Grafiği.

Hazırlanan bu sırları SSG Bünye olarak seçilen Vitrifiye bünye üzerinde sırlama yapılarak pişirim yapılmıştır (Görsel 4).



Görsel 4. Pişmiş plaka görselleri.

Piştirim yapılan plakaların renk, parlaklık (gloss) ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür (Çizelge 5). Piştirim esnasındaki sır akma boyları ise sır akma rampası vasıtasıyla ölçülmüştür. Sır akma boyları referans sır için 35 mm., SD24/270 için 34 mm., SD24/271 için 36 mm., SD24/272 için 37 mm. olarak tespit edilmiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Deniz kabuğu kullanımının SSG sırlarında kullanılmasıyla, istenen tane boyut aralığında ve istenen renk ve gloss (parlaklık) değerlerinin sağlandığı tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, genişleme ve ısı mikroskobu verileri de incelendiğinde referans sırla benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. Böylece sürdürülebilir hammadde arayışları çerçevesinde SSG sektöründeki, SSG sırlarında deniz kabuğunun kullanılabileceği tespit edilmiştir.

KAYNAKÇA

1. Karasu B., Yüksel G., Uysal N. (2020) The Recent Developments in Ceramic Glazes, Türkiye Seramik, 45(3), 116-128.
2. Nakashima, K., Okamoto, M., & Saito, T. (2015). Influence of marine shell powders on the properties of ceramic glazes. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 123(1), 17-23.

3. Shimizu, N., Kato, T., & Suzuki, M. (2017). Antibacterial effects of calcium carbonate derived from seashells on ceramic materials. *Journal of Applied Ceramic Technology*, 14(3), 451-457.
4. Dweck, J. M., Meira, A. A., & Silva, F. M. (2020). The impact of seashell-derived materials in ceramic applications for healthcare. *Ceramics International*, 46(12), 18492-18497.
5. Hiraga, H., & Ito, T. (2020). Effects of calcium carbonate in dental ceramics: Applications of marine-derived materials. *Dental Materials Journal*, 39(6), 880-887.
6. Badayman M, Kasapoğlu Dinçel E. (2023) Midye kabuğunun özellikleri ve tozunun değerlendirilmesi., *ABMYO Dergisi*, 68.

ALTERNATİF HAMMADDE OLARAK PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜNÜN SERAMİK SIRLARINDA KULLANIMI VE PERFORMANS ANALİZİ

İrem ALTINOK

Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.,
irem.altinok@creavit.com.tr - 0000-0001-9217-6502

Sezer KULLUK

Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.,
sezer.kulluk@creavit.com.tr - 0009-0009-9631-5368

Beste Bultan TUNA

Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.,
beste.tuna@creavit.com.tr - 0000-0002-6097-3002

Orçun ZIRTI

Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.,
orcun.zirtil@creavit.com.tr - 0009-0007-4277-5049

Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
fcaliskan@subu.edu.tr - ORCID ID 0000-0002-9568-7049

ÖZET

Sürdürülebilir malzeme kullanımı ve atık yönetimi, seramik endüstrisinde önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu çalışma, tarımsal atıklardan biri olan ve ticari katma değeri düşük olan pirinç kabuğunun termal işlemlerden geçerek elde edilen külün (PKÜ), seramik sırlarında kuvars yerine alternatif hammadde olarak kullanılabilirliğini araştırmayı amaçlamaktadır. Son dönemde, doğal kaynakların korunması, sektörün gittikçe büyümesi sebebiyle talebin artması vs sebebiyle alternatif yeni hammaddeler üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır. Öncelikle pirinç kabukları, mekanik olarak öğütülerek daha reaktif bir morfolojiye kavuşturulmuştur. Daha

reaktif bir forma getirilerek incelenen tozlar, daha sonra 800°C’de kontrollü ısıl işlem uygulanarak organik bileşenlerden arındırılmıştır. Elde edilen pirinç kabuğu külü, sır reçetesine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında kuvars yerine girilmiştir.

Hazırlanan sır formülasyonlarının reolojik özellikleri incelenmiş, viskozite, yoğunluk gibi parametre ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sırlama işlemleri standart seramik plakalara uygulanmış ve ardından 1210°C’de pişirilmiştir. Pişirim sonrası numunelerin sır akma davranışı, yüzey homojenliği, renk, parlaklık ve çatlak oluşumu gibi fiziksel ve görsel özellikleri değerlendirilmiştir.

Sonuçlar, pirinç kabuğu külü katkısının sıranın akışkanlık özelliklerini koruduğunu ve plaka yüzeylerinde düzgün bir kaplama sağladığını göstermiştir. Ayrıca, pişirim sırasında çatlak veya yüzey kusurlarının oluşmadığı tespit edilmiştir. İşletmede kullanılan standart sırlarla yapılan karşılaştırmalarda, PKÜ katkılı sırların benzer performans gösterdiği ve böylece kuvars kullanımını azaltarak çevresel ve ekonomik avantajlar sunacağı öngörülmüştür.

Bu çalışma, tarımsal atıkların seramik endüstrisinde yenilikçi bir şekilde kullanılabilmesini ortaya koymakta ve sürdürülebilir üretim süreçlerine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler : Pirinç kabuğu külü, seramik sır, kuvars alternatifi, sürdürülebilir ekonomi, tarımsal atıklar.

1. GİRİŞ

Sürekli büyüyen seramik endüstrisi, geleneksel hammadde kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmak ve çevresel sürdürülebilirliği artırmak için alternatif malzemelerin araştırılmasını zorunlu kılmıştır. Pirinç kabuğu külü (PKÜ), büyük oranda silika (%90-95) içeriği sayesinde seramik sırlarda potansiyel bir alternatif hammadde olarak dikkat çekmektedir (Yılmaz, 2020). Tarımsal atıkların yeniden değerlendirilmesi hem çevresel kirliliğin azaltılmasına katkı sağlamakta hem de düşük maliyetli çözüm arayışlarını desteklemektedir (Aydın & Erdem, 2019).

Pirinç, dünya genelinde en çok karşılaşılan tarımsal ürünlerden biridir ve kabuğu, bu ürünün işlenmesi sırasında ortaya çıkan önemli bir atık malzemedir. Her yıl milyonlarca ton pirinç kabuğu, çoğu kez enerji üretiminde yakıt olarak kullanılmasıyla küle dönüşmektedir

(Büyüksaraç, 2021). Bu kül, doğru tekniklerle işlendiğinde, yapı malzemelerinden özel seramik uygulamalarına kadar geniş bir alanda faydalı hale getirilebilir (Karakoç, 2022).

Seramik sırlarında, estetik ve fonksiyonel özellikleri geliştirmek amacıyla genellikle kuvars, feldispat ve kaolin gibi geleneksel malzemeler kullanılmaktadır (Gürbüz, 2018). Ancak, bu kaynakların sınırlı doğal rezervleri, artan üretim maliyetleri ve çevresel etkileri, seramik üreticilerini yenilikçi yaklaşımlara yönlendirmiştir (Yıldız & Koç, 2020). Bu bağlamda PKÜ, seramik sırları formülasyonlarında hem geleneksel silika kaynaklarının yerine geçebilecek hem de mekanik dayanım, ısı direnci ve kimyasal kararlılık gibi kritik performans kriterlerini iyileştirebilecek bir malzeme olarak değerlendirilmektedir (Sarı & Gökçe, 2019).

Yapılan çalışmalar, PKÜ'nün seramik sırlarında kullanımıyla elde edilen kaplamaların, özellikle düşük ısıda pişirme süreçlerinde önemli avantajlar sağladığını ortaya koymuştur (Can & Aydın, 2021). Ek olarak, bu uygulama seramik sırlarının maliyet yapısını optimize ederek endüstriyel üretim için sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır (Kurtuluş, 2020).

Bu çalışma, PKÜ'nün seramik sırları formülasyonlarında alternatif bir hammadde olarak kullanılabilirliğini araştırmakta ve bu yenilikçi yaklaşımın performans üzerindeki etkilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Aynı zamanda, bu yöntemin seramik endüstrisine katabileceği çevresel ve ekonomik faydalar da değerlendirilmiştir (Savaş, 2022). Literatürden elde edilen bulgular ve deneysel analizler ışığında, PKÜ'nün seramik endüstrisi için yenilikçi ve çevre dostu bir alternatif sunduğu gösterilmektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

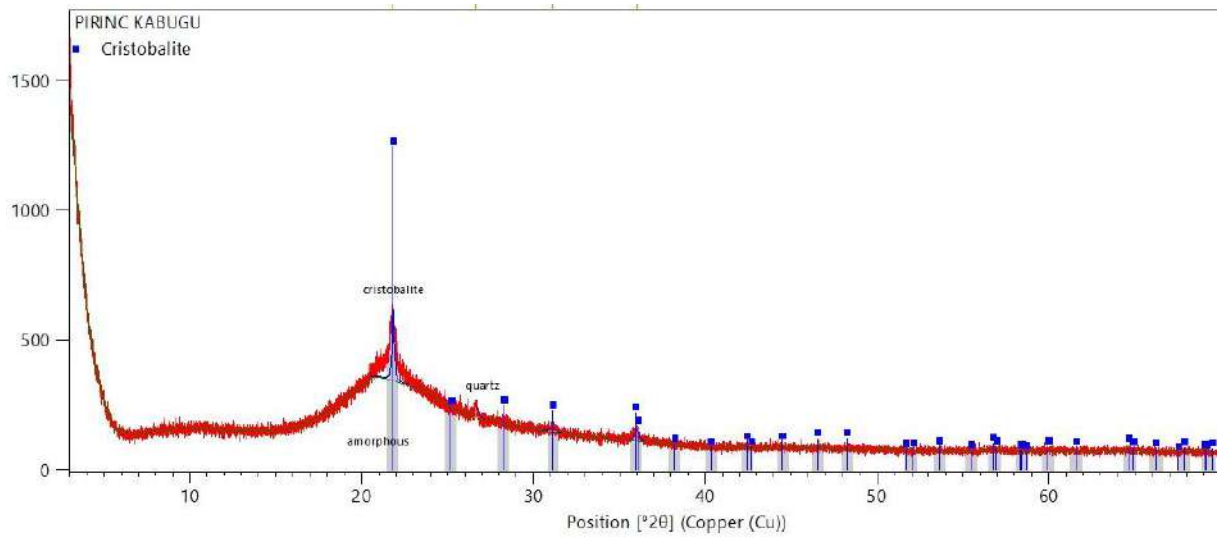
2.1 Pirinç Kabuğu Külünün Hazırlanması

Pirinç kabukları öncelikle mekanik öğütme işlemiyle reaktif bir forma getirilmiş ve ardından 800°C'de kontrollü bir ısıl işlem uygulanmıştır. Bu işlemler sonucunda organik bileşenlerden arındırılan kül, kimyasal ve mineralojik açıdan analiz edilmiştir. XRF analizleriyle külün kimyasal bileşimi, XRD analizleriyle mineralojik yapısı detaylı bir şekilde ortaya konmuştur. (Çizelge 1, Görsel 1). Kimyasal analizlerde külün yüksek miktarda silisyum oksit içerdiği belirlenmiş ve bu, kuvars yerine kullanım potansiyelini desteklemiştir. Yapılan X ışını kırınımı analizinde, yapıda bulunan SiO₂'nin kristobalitin ICDD kartıyla örtüştüğü görülmektedir. Pirinç kabuğundaki olası organikler, ısıl işlem sırasında uzaklaştığı vu sebeple yapıda

tanımlanabilir başka bir faz olmadığı, XRF ile yapılan kimyasal analizde ise kirlilik düzeyinde tespit edilen ve safsızlık olarak kabul edilen miktarlarda (%1<) bazı oksitler görülmüştür. Yalnızca K₂O'nun miktarı %3,83 olup reçetelerde mevcut olan bir oksit olduğu için diğer katkılarla sitokiometrik oranlara göre dengelenmiştir.

Çizelge 1. Pirinç Kabuğu Külünün Kimyasal Analizi (%)

Kimyasal Analiz	Pirinç Kabuğu Külü	Kuvars
SiO₂	91,65	97,63
Al ₂ O ₃	0,36	1,12
Fe ₂ O ₃	0,32	-
CaO	0,98	-
MgO	0,51	-
Na ₂ O	0,13	0,41
K ₂ O	3,83	0,16
P ₂ O ₅	0,71	-
SO ₃	0,41	-
MnO	0,24	-
LOI	0,82	0,48
Toplam	99,96	99,80



Görsel 1. Pirinç Kabuğu Külünün Mineralojik Analizi

2.2 Sır Formülasyonları ve Analizler

Pirinç kabuğu külü, sır formülasyonlarında kuvarsın yerini almak üzere %5, %10 ve %15 oranlarında kullanılmış ve bu sırların reolojik, termal ve fiziksel özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Hazırlanan formülasyonların viskozite, yoğunluk ve akma davranışları gibi reolojik özellikleri ölçülmüş; bu parametrelerin standarda uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, 1210°C’de pişirilen plakaların yüzey homojenliği, renk, parlaklık ve pürüzlülük gibi görsel özellikleri de değerlendirilmiştir (Çizelge 2-3, Görsel 3-4).

Çizelge 2. Farklı Pirinç Kabuğu Oranları Kullanılarak Hazırlanan Sır Reçeteleri

Reçete			
Hammaddeler	A	B	C
Feldspat	27,5	27,5	27,5
Kuvars	26,5	21,5	16,5
Kaolen	10,5	10,5	10,5
Mikronize Hammaddeler	30,5	30,5	30,5
Pirinç Kabuğu Külü	%5	%10	%15



Görsel 2. Sırasıyla A, B ve C Sırlarına Ait Akma Görselleri

Çizelge 3. Sırlara Ait Renk Ölçüm Değerleri

Sır Reçeteleri	A	B	C
L	92,3	91,4	92,3
a	-0,54	-0,8	-0,45

b	0,95	-0,47	0,95
Parlaklık	94,2	94,8	94,2



Görsel 3. Sırasıyla A, B ve C Sırlarına Ait Plaka Görselleri

Termal davranışların incelenmesi amacıyla ısı mikroskobu ve dilatometre analizleri yapılmış; PKÜ katkılı sırların genleşme davranışlarının standart sırlarla benzerlik gösterdiği bulunmuştur (Çizelge 4-5).

Bu, pişirim sırasında istenmeyen deformasyonların oluşmadığının bir kanıtıdır.

Çizelge 5: Pirinç Kabuğu Külü ile Hazırlanan Sırların Isı Mikroskobu Ölçümleri

Numune Adı	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Yumuşama Sıcaklığı (°C)	Tam Küre Sıcaklığı (°C)	Yarım Küre Sıcaklığı (°C)	Akma Sıcaklığı (°C)
%15 PKÜ Katkılı Sır	1163,0	1194,0	1211,0	1244,0	1274,0

Çizelge 6: Pirinç Kabuğu Külü ile Hazırlanan Sırların Isıl Genleşme (Dilatometre) Analizi

Numune Adı	α 100	α 200	α 300	α 400	α 500	α 600	α 700	α 800
------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

%15 PKÜ Katkılı Sır	59,2	61,6	63,5	64,6	65,2	66,0	67,9	80,0
--------------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

PKÜ katkılı sırlar, akışkanlık, yüzey homojenliği ve parlaklık gibi özelliklerde standart sırlara yakın performans göstermiştir. En çarpıcı bulgulardan biri, %15 PKÜ oranında dahi yüzeyde çatlak ya da deformasyonun oluşmadığıdır. Bu, PKÜ'nün seramik sırlarında kuvarsın yerine potansiyel bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır.

Ayrıca, PKÜ kullanımının hem çevresel hem de ekonomik avantajlar sunduğu belirlenmiştir. Tarımsal atıkların değerlendirilmesi sayesinde, doğal kaynakların korunması ve atık miktarının azaltılması gibi sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlanmıştır. Bununla birlikte, PKÜ katkılı sırların farklı seramik ürün gruplarında ve daha yüksek oranlarda kullanılabilirliğinin incelenmesi gelecekteki çalışmalar için önemli bir alan olarak görülmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, pirinç kabuğu külünün seramik endüstrisinde kuvars yerine kullanılabilirliğini ve bu yolla çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayabileceğini ortaya koymuştur. Sonuçlar, seramik endüstrisinde tarımsal atıkların kullanımı konusunda önemli bir potansiyel sunduğunu göstermektedir. Gelecekteki çalışmalar, farklı atık materyallerin ve çeşitli seramik uygulamalarının kapsamına dahil edilmesiyle genişletilebilir.

KAYNAKLAR

1. Aydın, M., & Erdem, M. (2019). Tarımsal atıkların değerlendirilmesi ve çevreye etkisi. *Çevre Bilimleri Dergisi*, 45(3), 25-30.
2. Büyüksaraç, N. (2021). Pirinç kabuğu külünün endüstriyel kullanımı. *Endüstriyel Malzemeler ve Teknolojiler*, 12(4), 15-18.
3. Can, F., & Aydın, E. (2021). Seramik sırlarında pirinç kabuğu külü kullanımı. *Seramik Teknolojileri Dergisi*, 33(2), 45-50.

4. Gürbüz, F. (2018). Seramik endüstrisinde geleneksel malzemelerin yerini alan alternatif hammadde kaynakları. *Seramik Mühendisliği Dergisi*, 25(5), 38-42.
5. Karakoç, S. (2022). Pirinç kabuğu külünün yapısal özellikleri ve uygulamaları. *Malzeme Bilimi Dergisi*, 29(1), 52-56.
6. Kurtuluş, Z. (2020). Seramik üretiminde maliyet optimizasyonu. *Seramik ve Malzeme Teknolojileri*, 18(3), 22-28.
7. Sarı, O., & Gökçe, D. (2019). Pirinç kabuğu külü ve özellikleri. *Gelişen Malzeme Bilimleri*, 21(2), 14-19.
8. Savaş, H. (2022). Çevre dostu malzemelerin seramik endüstrisine katkıları. *Sürdürülebilir Endüstriyel Uygulamalar*, 14(1), 32-35.
9. Yıldız, A., & Koç, M. (2020). Seramik üretiminde kullanılan geleneksel ve alternatif malzemeler. *Endüstriyel Seramik Dergisi*, 28(4), 44-50.
10. Yılmaz, O. (2020). Pirinç kabuğu külü: Fiziksel ve kimyasal özellikleri. *Kimya ve Malzeme Dergisi*, 35(7), 18-24.

BOR KATKISININ FLEKS PU SÜNGERİN RADYASYON ZIRHLAMA PARAMETRELERİNE ETKİSİ

Sıla TOPÇU

Aydın Endüstri San Tic A.Ş. AR-GE Merkezi, Kozluk Mahallesi, D-100 Yan Yol D:No: 10,
54200, Sakarya, cevre@aydinendustri.com, ORCID: 0000-0003-0681-8033

Eren ERTİK

Aydın Endüstri San Tic A.Ş. AR-GE Merkezi, Kozluk Mahallesi, D-100 Yan Yol D:No: 10,
54200, Sakarya, cevre@aydinendustri.com, ORCID: 0000-0002-2552-4375

Murat ZENGİN

Aydın Endüstri San Tic A.Ş. AR-GE Merkezi, Kozluk Mahallesi, D-100 Yan Yol D:No: 10,
54200, Sakarya, murat.zengin@aydinendustri.com, ORCID: 0000-0002-6171-5574

Ebru YILMAZ

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme
Mühendisliği Bölümü, ebruyilmaz@subu.edu.tr, ORCID:0000-0001-7598-1171,
05378607873

Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
fcaliskan@subu.edu.tr - ORCID ID 0000-0002-9568-7049

ÖZET

Günümüzde radyasyonun farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmasının, çevre ve insan sağlığı üzerinde çok sayıda olumsuz etkiye neden olduğu bilinmektedir. Bu durum, etkili ve çevre dostu radyasyon zırhlama malzemelerinin geliştirilmesini bir zorunluluk haline getirmiştir. Geleneksel radyasyon zırhlama malzemelerinin genellikle ağır metaller içermesi, çevresel risklere yol açmakta ve taşınabilirlikten yoksun olmaları nedeniyle yenilikçi çözümlere olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu bağlamda, bu çalışma, bor katkılı poliüretan süngerlerin radyasyon

zırhlama potansiyelini araştırmayı hedeflemekte ve etkili, hafif bir alternatif sunmayı amaçlamaktadır.

Geleneksel olarak kullanılan kurşun bazlı zırhlama malzemeleri yüksek etkinlik göstermelerine rağmen, toksik özellikleri ve yüksek yoğunlukları nedeniyle alternatif malzemelerin geliştirilmesine yönelik talepler artmaktadır. Bor, yüksek nötron soğurma kapasitesine sahip olması nedeniyle radyasyon zırhlama uygulamalarında kritik bir element olarak öne çıkmaktadır. Poliüretan sünger ise düşük yoğunluğu, mekanik dayanımı ve kimyasal kararlılığı ile özellikle taşınabilir ve karmaşık geometrilere sahip zırhlama malzemelerinin tasarımında avantaj sağlamaktadır. Bu bağlamda, bor katkılı poliüretan (PU) süngerler, hafif yapıları, esneklikleri ve yüksek nötron absorpsiyon yetenekleri sayesinde yenilikçi radyasyon zırhlama malzemeleri olarak dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada, klasik sünger reçetesi modifiye edilerek, bor bileşiklerinin (ör. B_2O_3) poliüretan sünger matrisi içinde homojen dağılımının sağlanması ve bu bileşiklerin radyasyon absorpsiyon kapasitesine olan etkilerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Üretilen bor katkılı kompozitlerin geleneksel yöntemlerle (fiziksel, mekaniksel vs) incelenecek, sonrasında radyasyon performans ölçüm simülasyon yazılımlarıyla bor katkısının poliüretan süngerlerin radyasyon zırhlama parametreleri incelenecektir. Böylece, poliüretan malzemeler için geleneksel özelliklerinin yanı sıra katma değerli yeni özellikler kazandırılması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Radyasyon parametresi, poliüretan, bor oksit, izolasyon

1. GİRİŞ

Radyasyon, hem günlük yaşamda hem de nükleer enerji üretimi, medikal uygulamalar ve uzay araştırmaları gibi birçok alanda sıklıkla karşılaşılan ve canlı organizmalar üzerinde potansiyel tehlikeler barındıran bir enerji formudur. Doğada doğal olarak bulunan düzeyinin yanı sıra, yapay kaynaklardan gelen radyasyonun zararlı etkilerini en aza indirmek için maksimum koruma gerektirir. Bu sebeple, radyasyonun zararlı etkilerinden korunmayı sağlayacak yenilikçi ve sürdürülebilir zırhlama malzemelerine olan ihtiyacı her geçen gün artırmaktadır [1-4].

Radyasyon zırhlama malzemeleri, radyasyonun enerjisini emerek veya saçarak, radyasyon dozunu azaltma amacıyla kullanılır. Yüksek yoğunluklu malzemeler radyasyon koruması için ideal olduğundan, kurşun (Pb) veya Pb içeren betonlar, alaşımlar ve kompozitler radyasyon koruma uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. Bu geleneksel zırhlama malzemelerin

yoğunlukları, yapısal olarak dezavantajlar ve kullanım alanlarında kısıtlamalar getirmektedir. Bu yüzden, daha hafif ve esnek yeni nesil radyasyon zırhlama malzemelerine olan ihtiyaç artmaktadır [5,6].

Polimer malzemeler arasında poliüretan (PU), olağanüstü mekanik özellikleri nedeniyle lider bir konuma sahiptir. Bunlar arasında yüksek uzama kapasitesi, yüksek enerji emme kapasitesi, termal kararlılık, kimyasal direnç, ürünlerinde ve uygulamalarında çok yönlülük, kolay uygulanabilirlik, maliyet etkinliği ve nihai ürünlerin genel dayanıklılığına ve sürdürülebilirliği sayesinde birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılan bir malzeme türüdür [7-9].

Yüksek radyasyon soğurma yeteneğine sahip bor elementi, bu özelliğiyle etkili bir zırhlama malzemesi olarak kullanılabilir. Borun yüksek nötron zırhlama performansı yanı sıra kolya bulunabilmesi ve uygun maliyeti nedeniyle en çok kullanılan malzeme olarak kullanılmasını sağlamaktadır [10-11].

Bu araştırma, poliüretan süngerlerin radyasyon koruması için yeni bir yol sunmayı hedefliyor. Klasik sünger yapım yöntemleri değiştirilerek, bor bileşikleri (örneğin bor oksit) süngerin içine eşit bir şekilde dağıtılacak. Böylece, sünger hem hafif ve esnek yapısını koruyacak hem de radyasyonu emme özelliği kazanacaktır.

2. MATERYAL VE METOTLAR

2.1. Bor Oksit (B₂O₃) Poliüretan Sünger Üretimi

Bu çalışmada, bor katkılı esnek poliüretan süngerler üretmek için kutu döküm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem öncesi reçeteye göre hazırlanan karışım mikser yardımıyla homojen olarak karıştırılmış, bor kaynağı olarak ilave edilen bor oksit (B₂O₃) partikülleri köpük oluşum reaksiyonu sırasında poliüretan gözenek yapısına homojen bir şekilde dağıtılması sağlanmıştır. Böylece, elde edilen sünger hem standartlara uygun değer aralığında hafif ve esnek özelliğini koruyacak ve hem de radyasyona karşı daha dirençli hale gelecektir. Bu bor oksit katkılı poliüretan süngeri üretmek için sünger reçetesine polioliol, diizosiyanat (TDI), su, amin, kalay ve silikon girilmiştir. İlk aşamada polioliol, diizosiyanat (TDI) ve su karıştırılarak süngerin matris fazı oluşturulmuştur. Daha sonra amin, kalay ve silikon süngerin oluşumunda yardımcı elementler olarak eklenmiştir. Son olarak 2,5% (kaba, -50 µm), 5% (kaba, -50 µm), bor oksit katkısı eklenerek sünger üretimi tamamlanmıştır. Şekil 1'de üretilen sünger resimleri verilmiştir. Bu maddeler karıştırılarak kalıba dökülmüş ve belirli koşullarda sertleştirilmiştir. Elde edilen numuneler üzerinde çeşitli fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Bor oksit

katkılı poliüretan sünger kompozitin XCOM programı ile radyasyon deneylerine tabi tutulmuş ve radyasyon parametreleri belirlenmiştir. Bu sayede, bor katkısının süngerin radyasyon zırlama özelliğine olan etkisi incelenmiştir.



Şekil 1. Bor Oksit (B_2O_3) Poliüretan Sünger Üretimi

2.2. Bor Oksit (B_2O_3) Poliüretan Sünger Karakterizasyonu

Bor oksit (B_2O_3) katkılı poliüretan sünger köpüklerin fiziksel ve mekanik özellikleri, üretim sürecinin ardından detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu malzemelerin karakterizasyonu için yoğunluk, elastikiyet, kopma uzaması ve yırtılma dayanımı gibi parametreler kullanılmıştır. Yoğunluk ölçümleri, belirli hacimdeki numunelerin hassas terazide tartılması ve elde edilen verilerin hacme oranlanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Elastikiyet, kopma uzaması ve yırtılma dayanımı testleri ise standart numuneler üzerinde, ilgili test cihazları kullanılarak yapılmıştır. Bu testler sonucu elde edilen veriler, malzemenin kullanım alanlarına uygunluğunu değerlendirmek için önemli birer veri kaynağı oluşturmaktadır.

Poliüretan sünger kompozitlerin radyasyon etkileşimleri, XCOM yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Radyasyonun madde içerisindeki davranışı, lineer azaltma katsayısı (μ) gibi parametrelerle ifade edilir. Bu katsayı, radyasyonun malzemedeki soğrulma, saçılma ve çift oluşum gibi etkileşimler sonucunda zayıflamasını belirler. XCOM yazılımı, farklı enerjili radyasyonlar için lineer azaltma katsayılarını hesaplayarak, malzemenin radyasyon şiddetini ne kadar azaltabileceği hakkında bilgi verir. Ayrıca, kütle azaltma katsayısı ve yarı değer kalınlık gibi parametreler de bu yazılım aracılığıyla hesaplanabilir. Bu parametreler, malzemelerin radyasyon kalkını olarak kullanılma potansiyellerini değerlendirmek için önemlidir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

3.1. Bor Oksit (B_2O_3) Poliüretan Süngerlerin Fiziksel Testleri

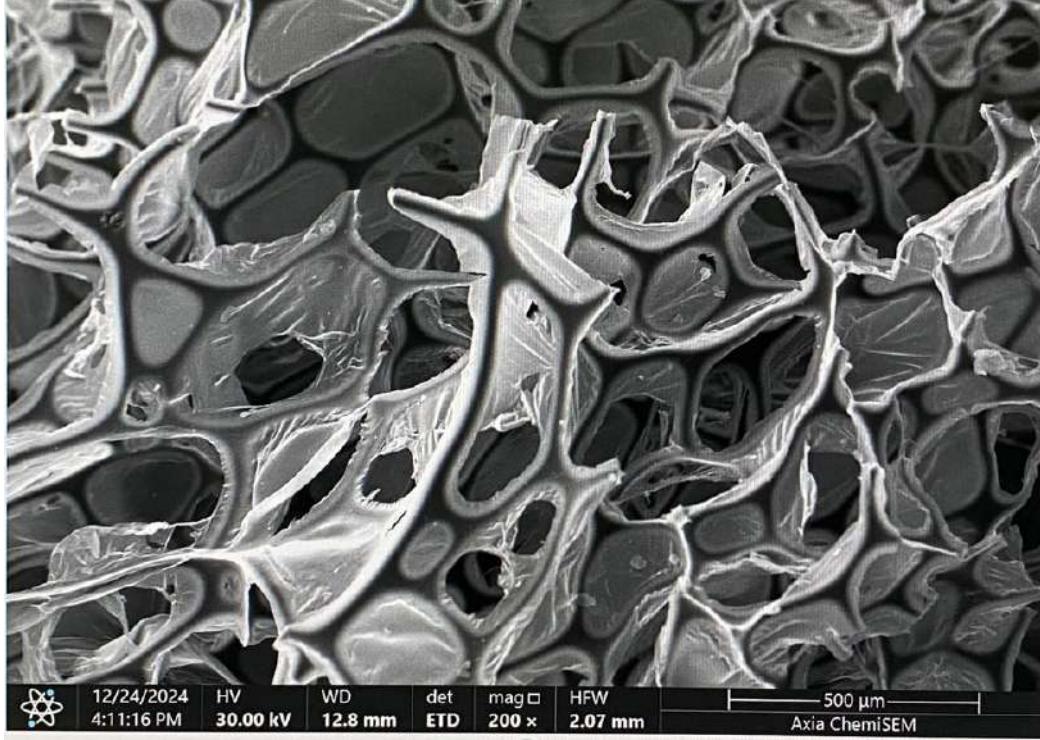
Tablo 1’de (%2,5) ve (%5) bor oksit katkılı poliüretan sünger kompozitinin yoğunluk değeri, ISO 845 standardına uygun olarak yapılan ölçümler sonuçları tabloda verilmiştir. Bor oksit, poliüretandan daha yoğun bir maddedir. Bor partiküllerinin sünger matrisine dahil olmasıyla yoğunlukta bir artış gözlemlenmektedir. Özellikle ince numunelerde, bu artış beklenildiği kadar belirgin olmamıştır. % 2,5 kaba bor oksit katkılı numunenin yoğunluğu katkısız numuneye göre neredeyse benzer çıkmıştır. Süngerin elastik modülü değeri, TS EN ISO 8307 standardına uygun olarak yapılmıştır. Bor oksit katkısı arttıkça elastiklik modülü değerlerinde bir azalma gözlemlenmektedir. Sert ve kırılğan bir yapıya sahip olan bor oksit, sünger matrisinde bir sertleşme etkisi yaratmasıyla birlikte matris içindeki hareketliliği sınırlayarak esnekliği azalttığını göstermiştir. Süngerin kopma mukavemeti değeri, TS EN ISO 1856 standardına uygun olarak yapılmıştır. Bor katkısı arttıkça kopma mukavemeti değerlerinde genel olarak bir artış gözlemlenmektedir. Beklendiği gibi bor partikülleri süngere ek sertlik kazandırmıştır.

Tablo 1. Bor oksit (B_2O_3) poliüretan süngerlerin fiziksel testleri

Numune	Yoğunluk (kg/m^3)	Elastikiyet (n/mm^2)	Kopma Mukavemeti (N/mm^2)	Kopma Uzama (%)	Yırtılma mukavemeti (N/cm)
PS 22 D	21.06	39.27	0.14	134.84	2.46
PS-B2.5 (2,5%)	21.29	27.03	0.09	120.16	4.5
PS-B5 (5%)	25.78	23.77	0.22	185.03	5.2

Süngerin kopma uzaması değeri, EN ISO 1798 yırtılma ASTM D3574-F standardına uygun olarak yapılmıştır. Bor oksit katkısı arttıkça kopma uzaması değerlerinde genellikle bir azalma görülmektedir. Bor oksit poliüretan moleküllerinin hareketini kısıtlayarak malzemenin esnekliğini azaltmasından kaynaklanmaktadır. Yırtılma mukavemeti değerleri, bor oksit katkısının artmasıyla birlikte genel olarak artış göstermiştir. Bor oksit parçacıkları, süngerin içindeki boşlukları doldurarak, yırtılma yayılmasını engellemiştir. Elde edilen bu sonuçlar, üretilen polimer kompozit malzemenin istenen fiziksel özelliklere sahip olduğunu ve kalite standartlarına uygun olduğunu göstermektedir. Malzemenin mikro yapısı, taramalı elektron

mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Şekil 2’de verilen SEM görüntüsünde, gözeneklerin homojen bir dağılım gösterdiği, ana hücrelerin yan hücreler ile bağlantılı olduğu ve hücre duvarlarının belirgin olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Bor oksit (B₂O₃) poliüretan süngerlerin SEM görüntüsü

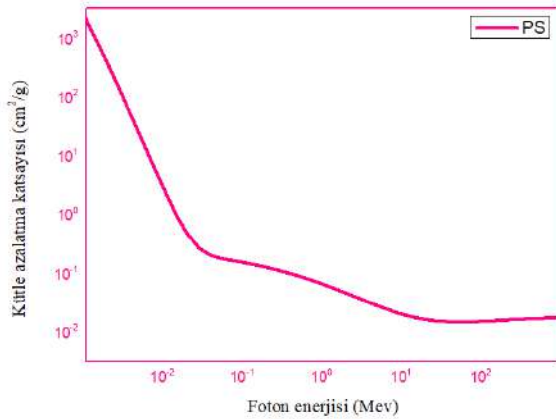
3.2. Radyasyon Zırhlama Parametrelerinin Belirlenmesi

Ağırlıkça 0,2,5 ve 5 bor oksit oranları ile üretilen PS, PS-B2.5 ve PS-B5 kodlu bor oksit katkıli poliüretan sünger kompozit malzemelerin kütle azaltma katsayısı (μ/ρ), lineer azaltma katsayısı ve yarı değer kalınlık değerleri hesaplanmış olup zırhlama performansları birbiri ile kıyaslanmıştır. Elde edilen poliüretan kompozit malzemenin kütle azaltma katsayı değerleri, 0,0015 MeV ve 500 MeV enerji aralığında hesaplanarak Tablo 2’ de gösterilmektedir. Düşük enerjili bir foton ile poliüretan kompozit malzeme etkileşime girdiğinde artan katkı miktarına bağlı olarak radyasyon zırhlama performansı artmıştır. Foton enerjisinin artışı ile kütle azaltma katsayıları aynı değerlere ulaşmıştır. Elde edilen poliüretan kompozit malzemenin minimum kütle azaltma katsayı değeri 50 MeV’lik foton enerjisinde elde edilirken maksimum kütle azaltma katsayısı 1,5 keV’lik foton enerjisinde elde edilmiştir. PS, PS-B2.5 ve PS-B5 kodlu poliüretan kompozit malzemelerinin minimum ve maksimum kütle azaltma katsayı değerleri sırasıyla 0,015-920,10 cm²/gr - 0,015-926,70 cm²/gr- 0,015-933,30 cm²/gr dir

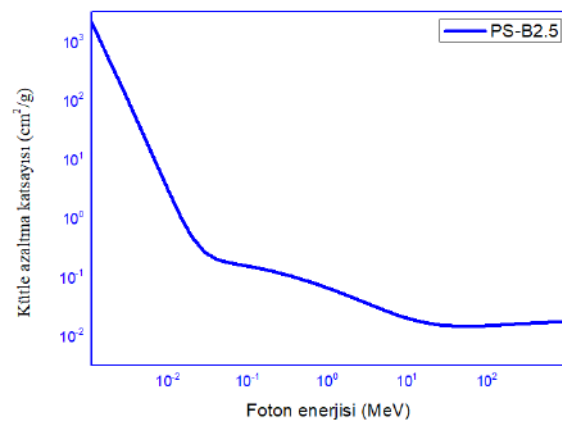
Tablo 2. Poliüretan kompozit malzemenin kütle azaltma katsası (cm²/g)

Enerji (MeV)	Kütle azaltma katsayısı (cm ² /g)		
	PS	PS-B2.5	PS-B5
0,0015	920,10	926,70	933,30
0,002	405	408,1	411,2
0,003	123,50	124,50	125,5
0,004	52,14	52,58	53,01
0,006	15,16	15,29	15,42
0,015	0,99	1,000	1,007
0,2	0,13	0,129	0,1295
0,6	0,08	0,085	0,085
1	0,06	0,067	0,066
3	0,037	0,037	0,037
40	0,015	0,015	0,015
50	0,015	0,015	0,015
300	0,016	0,016	0,016
400	0,017	0,017	0,017
500	0,017	0,017	0,017

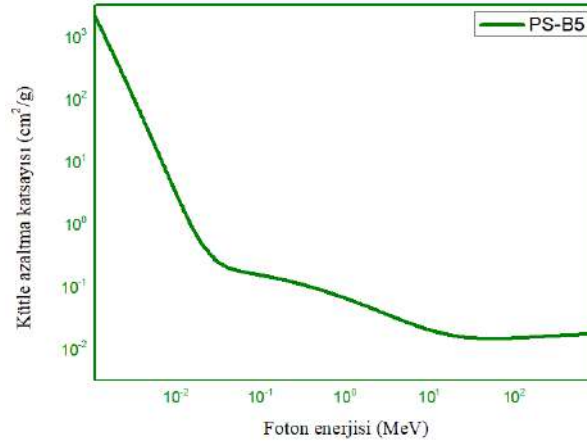
Bor oksit katkılı poliüretan kompozit malzemenin kütle azaltma katsayıları Şekil 3’de görüldüğü üzere aynı foton enerji aralığında aynı etkileşimleri göstermektedir. Yapıya bor oksit girmesi sonucu düşük enerji aralığında malzemenin kütle azaltma katsayıları yakın çıkmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3. Bor oksit katkılı poliüretan kompozit malzemenin kütle azaltma katsayısı (a) PS, (b) PS-B2.5 ve (c) PS-B5

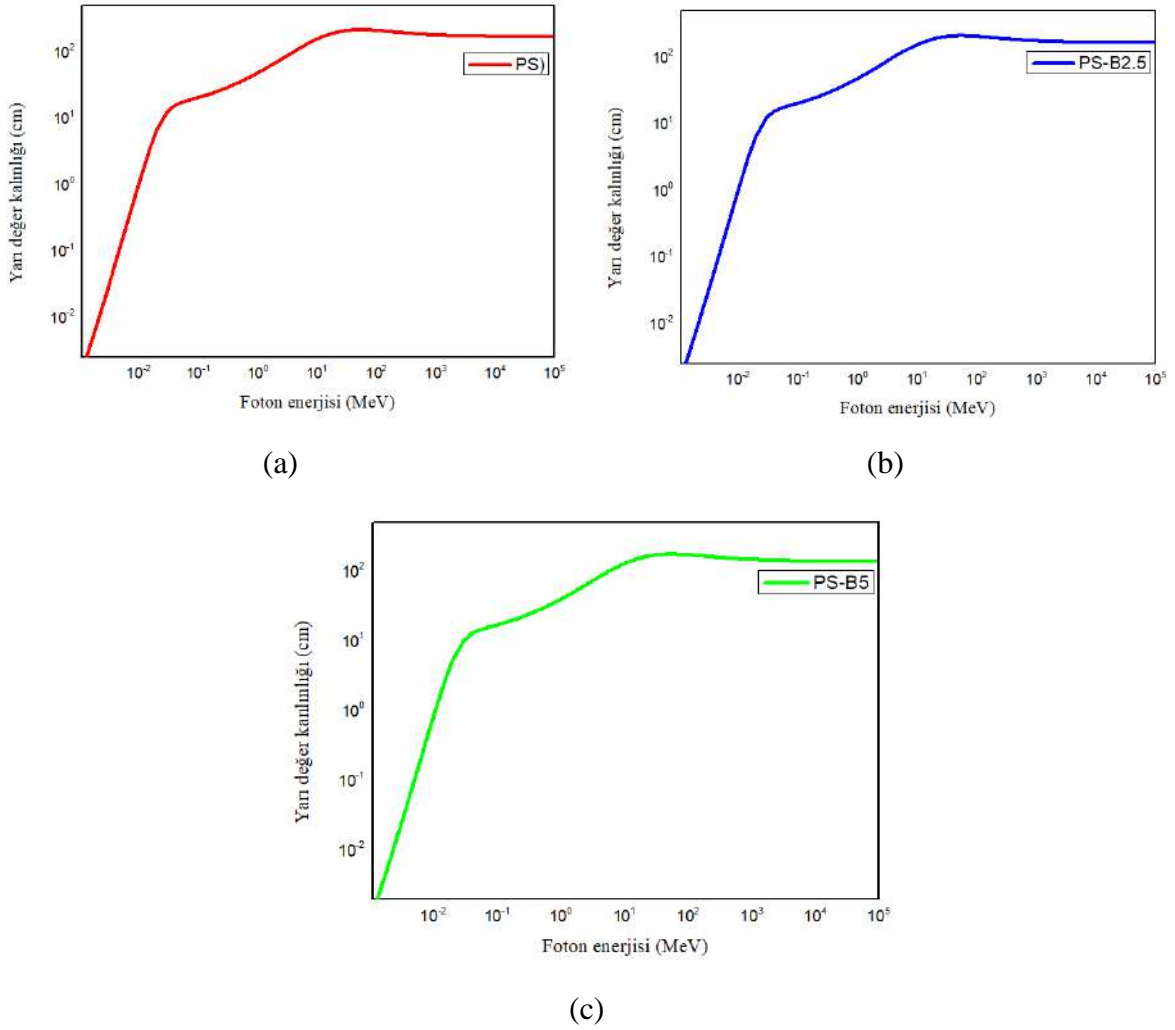
Radyasyon zırlama parametrelerinden bir diğeri yarı değer kalınlık değeridir. Malzemeye gelen radyasyon şiddetini yarıya düşüren malzeme kalınlığına yarı değer kalınlığı denilmektedir. Foton şiddeti ile malzeme kalınlığı doğru orantılıdır. Bu kalınlık lineer azaltma katsayısı ile ilişkilidir. Yarı değer kalınlığı, $\ln 2$ değerinin lineer azaltma katsayısına bölünmesi ile bulunmaktadır. Bor oksit katkılı poliüretan kompozitin farklı foton enerjisine bağlı olarak elde edilen yarı değer kalınlıkları Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Poliüretan kompozit malzemenin yarı değer kalınlık değerleri (cm)

Enerji (MeV)	Yarı değer kalınlığı (cm)		
	PS	PS-B2.5	PS-B5
0,0015	0,00035	0,00035	0,00288
0,002	0,00812	0,0079	0,00653
0,003	0,02664	0,02614	0,02141
0,004	0,06311	0,0619	0,0507
0,006	0,21705	0,21288	0,17432
0,015	3,31513	3,25504	2,66944
0,2	25,31229	25,07742	20,75776
0,6	38,37879	38,03961	31,48062
1	48,56971	48,14449	39,84186
3	86,70878	85,93055	71,11455
40	215,63553	213,305983	176,0399
50	217,34466	214,85474	177,3173
300	195,63604	193,29271	159,4383
400	191,7598	189,35714	156,19583

500	189,00622	186,74981	154,0475
-----	-----------	-----------	----------

Artan foton enerjisi ile yarı değer kalınlık değerlerinde artış olmuştur. Saf poliüretan kompozitin yarı değer kalınlığı çok düşük enerjilerde (0,0015 MeV' de) 0,0035 cm iken artan bor oksit katkı oranlarında ise sırasıyla 0,0035 ve 0,00288 cm değerleri elde edilmiştir. 50 MeV'e sahip bir foton enerjisi ile etkileşen kompozit malzemenin yarı değer kalınlığı en yüksek değerlere ulaşmıştır. Artan katkı miktarına göre maksimum yarı değer kalınlık değerleri sırasıyla 217,3446 - 214,8547 ve 177,3173 cm çıkmıştır. Şekil 4' de yarı değer kalınlık grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 4. Bor oksit katkılı poliüretan kompozit malzemenin yarı değer kalınlığı (a) PS, (b) PS-B2.5 ve (c) PS-B5

GENEL SONUÇLAR

- % 2,5 ince, %5 ince ve %5 kaba bor oksit parçacıklı poliüretan süngerlerin katkısız süngerlere göre yoğunluğu artmıştır.
- % 2,5 ince bor oksit parçacıklı poliüretan süngerler numunenin elastikiyeti katkısız süngerlere oldukça yakındır.
- %5 kaba bor oksit parçacıklı poliüretan süngerlerin kopma mukavemeti ve kopma uzaması katkısız süngerlere göre artmıştır.
- Tüm bor oksit parçacıklı poliüretan süngerler numunelerin katkısız süngerlere göre yırtılma mukavemeti artmıştır.
- Üretilen poliüretan kompozit malzemelerin kütle azaltma katsayıları birbirlerine yakın değerlerde çıkmıştır.
- Yarı değer kalınlık sonuçları incelendiğinde, katkılı poliüretan kompozit malzemesinin aynı radyasyon şiddetini soğurmak için daha az kalınlığa ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Alrowaili, Z. A., Yılmaz, E., Çalışkan, F., Öztürk, B., Olarinoye, I. O., Arslan, H., & Al-Buriahi, M. S. (2023). Radiation shielding performance of a newly synthesized bismuth borate glass system. *Radiation Physics and Chemistry*, 204, 110711.

[2] Alzahrani, J. S., Yılmaz, E., Çalışkan, F., Alrowaili, Z. A., Olarinoye, I. O., Alqahtani, M. S., ... & Al-Buriahi, M. S. (2023). Synthesis and optimization of B₂O₃-based glass: Influence of MgO on hardness, structure properties, and radiation shielding performance. *Materials Today Communications*, 37, 106933.

- [3] Singh J, Singh H, Sharma J, Singh T, Singh PS. Fusible alloys: a potential candidate for gamma rays shield design. *Prog. Nucl. Energy*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2018.04.002>.
- [4] Sodhi K.S., Krishna S., Saxena A.K., Sinha A., Khandelwal N., Lee E.Y. Clinical application of “Justification” and “Optimization” principle of ALARA in pediatric CT imaging: ‘how many children can be protected from unnecessary radiation?’. *Europ. Jour. Rad.* 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2015.05.030>.
- [5] Cherkashina, N.I., Pavlenko, V.I., Noskov, A.V., 2019. Radiation shielding properties of polyimide composite materials. *Radiat. Phys. Chem.* 159, 111–117.
- [6] Akman, Ferdi, Ozkan, I., Kaçal, Mustafa Recep, Polat, Hasan, Shams, AM Issa, Tekin, H. O., Agar, O., 2021. Shielding features, to non-ionizing and ionizing photons, of FeCr based composites. *Appl. Radiat. Isot.* 167, 109470.
- [7] M. Miller, *Polymers in Cementitious Materials*, Rapa Technology Limited. Shawbury, Shawbury, SY4 4NR. UK, 2005.
- [8] P.K. Saxena, K.G. Raut, S.R. Srinivasan, S. Sivaram, R.S. Rawat, R.K. Jain, Polyurethane waterproofing coating for building applications, *Constr. Build. Mater.* 5 (4) (1991) 208–210.
- [9] The Economic Benefits of the U.S. Polyurethanes Industry 2013. Economics & Statistics Department. American Chemistry Council. October 2014. <https://polyurethane.americanchemistry.com/Resources-and-Documents-Library/Economic-Benefits-of-Polyurethanes-2013.pdf>. (accessed 20-09-2025)
- [10] Mehta P. K., Monteiro P. J., *Concrete: microstructure, properties, and materials*. McGraw-Hill Education, 2014.
- [11] Kontani O., Ichikawa Y., Ishizawa A., Takizawa M., Sato O., Irradiation effects on concrete structure Proceedings in International Symposium on the Ageing Management & Maintenance of Nuclear Power Plants, International Atomic Energy Agency (IAEA), 173-182, 2010.

FİLMAŞINLERİN Zn-P KAPLAMA HAVUZ ATIK ÇAMURUNUN KARAKTERİZASYONU VE BULK ÜRETİM POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

Muhammet Barış EKİCİ

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme
Mühendisliği Bölümü, m.baris.ekici@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4263-0636,
05437780988

Sıla TOPÇU

Aydın Endüstri San Tic A.Ş. AR-GE Merkezi, Kozluk Mahallesi, D-100 Yan Yol D:No: 10,
54200, Sakarya, cevre@aydinendustri.com, ORCID: 0000-0003-0681-8033, +905332042187

Murat ZENGİN

Aydın Endüstri San Tic A.Ş. AR-GE Merkezi, Kozluk Mahallesi, D-100 Yan Yol D:No: 10,
54200, Sakarya, murat.zengin@aydinendustri.com, ORCID: 0000-0002-6171-5574,
05301714155

Ebru YILMAZ

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme
Mühendisliği Bölümü, ebruyilmaz@subu.edu.tr, ORCID:0000-0001-7598-1171,
05378607873

Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
fcaliskan@subu.edu.tr - ORCID ID 0000-0002-9568-7049

ÖZET

Fosfat kaplama süreçleri, metal yüzeylerin paslanmaya karşı korunmasında sıkça kullanılan bir tekniktir. Ancak bu yöntem sonucunda önemli miktarda fosfatlama çamuru atığı ortaya çıkmaktadır. Geleneksel atık yönetiminde ortaya çıkan atıklar bertaraf tesislerine gönderilmektedir ve bu yöntemler hem yüksek maliyetli olup hem de yeraltı ve yerüstü suların kirlenmesi, hava kirliliği, gürültü, toz vb. gibi birçok sorunlara yol açabilmektedir. Çelik

filmaşınlara fosfat kaplama uygulandıktan sonra ortaya çıkan atıklar, kaplama işlemi sırasında kullanılan kimyasallardan kaynaklanan farklı türlerde olabilmektedir. Fosfatlama sırasında metal yüzeyinde meydana gelen reaksiyonlar sonucunda çökeltiler oluşmaktadır. Bu çökeltiler, yani fosfatlama çamuru, fosfat kaplama işlemi esnasında metal yüzey ile fosfat çözeltisi arasındaki kimyasal etkileşimlerin bir yan ürünü olarak oluşan katı atıklardır. Çamurun içeriği genellikle fosfat tuzları, metal oksitler ve kaplama sırasında çözülmüş metal parçacıklarından oluşmaktadır. Kaplama işlemi sırasında yüzeyden ayrılan veya çözünen çelik filmaşın parçaları ve diğer metaller (örneğin demir, çinko, mangan), atık su veya çamur içerisinde bulunabilmektedir. Fosfat çamurunun çimento üretimi veya yapı malzemesi olarak kullanılması, sürdürülebilir atık yönetimi açısından umut verici bir seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada, filmaşın kangalları öncesi fiziksel veya kimyasal yüzey temizliği yapıldıktan sonra, çinko fosfat kaplama işlemi gerçekleştirilecektir. Tekrarlı gerçekleştirilen çinko fosfat kaplama işlemleri sonrasında havuz tabanında bir çamur birikmesi gerçekleşmektedir. Bu çamur daha sonra tabandan sıyırma suretiyle toplanarak havuzdan uzaklaştırılacaktır. Çinko fosfat kaplama havuz çamuru daha sonra kalsine edilecek ve sonrasında toz metalürjisine göre toz hazırlama prosesiyle peletler hazırlanarak 800-1000°C arasında 90dk süreyle sinterlenecektir. Ara ürünler ve nihai ürünler fiziksel, kimyasal ve mikroyapısal olarak incelenecektir. Bu çalışma ile atık çamurun bertaraf problemini ortadan kaldıracak ve aynı zamanda ekonomik bir değer kazandıracak bir yaklaşım denenecektir.

Anahtar Kelime : Çinko, fosfat, atık çamur, sinterleme

1. GİRİŞ

Çinko fosfat kaplama, metal yüzeylerin korozyona karşı korunması ve diğer kaplamalar için daha iyi yapışma sağlanması gibi pek çok avantaj sunduğu için metal işleme endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir yüzey işlem yöntemidir. Metal yüzeylerdeki çinko fosfat kaplamalar genellikle korozyona karşı çok katmanlı bir koruyucu kaplamanın ilk katmanıdır ve temel metal yüzeyini düzgün bir şekilde kaplaması ve böylece koruyucu kaplamanın hasar görmesi durumunda temel metali korozyona karşı koruması beklenir [1–5]. Ekonomik olması, hızlı oluşması, çok yüksek korozyon direnci, aşınma direnci, yapışma ve yağlama özellikleri ve çeşitliliği nedeniyle fosfat kaplamalar çeşitli endüstrilerde önemli rol oynamaktadır[6–11].

Son birkaç on yıldaki hızlı sanayileşme, dünya çapında üretilen tehlikeli endüstriyel atık miktarını önemli ölçüde artırmıştır. Çinko fosfat kaplama sırasında, metal yüzey ile kaplama çözeltisi arasındaki reaksiyon sonucu durulama havuzu çamuru ortaya çıkar. Durulama havuz çamuru atıkların insan sağlığı ve çevre üzerindeki zararlı etkilerini en aza indirmek için uygun şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Atıkların geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması için teknolojilerin geliştirilmesi, tehlikeli atık yönetimi konusunda kritik öneme sahiptir [12-13].

Durulama havuz çamuru, metallerin yüzey işlemlerinden kaynaklanan tehlikeli bir atıktır. Çamur, esas olarak su, demir ve çinko fosfatlar ve Na, K, S, Pb, Cr, Ni ve Cu gibi eser miktarda küçük elementler içerir. Durulama havuz çamuru, içerdiği ağır metallerin çevreye zarar verme potansiyeli nedeniyle Türkiye, Avrupa Birliği (AB) ve Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US EPA) tarafından tehlikeli atık olarak belirlenmiştir. Çinko fosfat kaplama atıklarında bulunan çinko, fosfor ve diğer değerli elementler, yeni materyal geliştirme süreçlerinde potansiyel bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Bu elementler, gelişmiş özelliklere sahip kompozit malzemeler, seramikler ve diğer endüstriyel ürünlerin üretiminde kullanılabilir [14].

Bu çalışmanın amacı, çinko fosfat kaplama atıklarını değerlendirerek çevresel bir sorun olan atık yönetimi probleminde çözüm bulmak ve aynı zamanda bu atıklardan yeni bir malzeme elde ederek sürdürülebilir bir üretim süreci oluşturmaktır. Toplanan çamur örnekleri, termal ayrışma için kalsinasyon işlemine tabi tutularak kurutulacak ve ardından ince bir toz haline getirilmek üzere öğütülecektir. Elde edilen toz, çelik kalıplarda preslenerek ham numuneler hazırlanacak ve farklı sıcaklıklarda sinterlenerek yoğunlaştırılacaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

2.1. Çamur Numunelerinin Toplanması ve Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan çamur örnekleri, çelik filmaşın tellerinin çinko fosfat kaplama tesisinde bulunan durulama havuzları ve çamur çöktürme tankları temin edilmiştir. Bu numuneler, prosesin farklı aşamalarında oluşan çamurların karakteristik özelliklerini incelememizi ve kullanım potansiyelini ortaya çıkarmamızı sağlamıştır. Laboratuvarda, numuneler öncelikle 150°C'de 90 dk kalsine edilmiş ve farklı analizler için öğütülerek ince toz hale getirilmiştir. Daha sonra bu tozlar çelik kalıplarda şekillendirilmiştir.

2.2. Çamur Numunelerin Sinterlenmesi

Elde edilen çamur örnekleri, farklı sıcaklıklarda sinterleme işlemine tabi tutularak yoğunlaştırılmıştır. Sinterleme işlemi kademeli olarak, 400°C'de 30 dk bekletilmiştir ve numuneler belirli bir süre boyunca 800°C, 900°C ve 1000°C sıcaklıklarda fırın içerisinde ısıtılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda, çamur içerisindeki su buharlaşmış, partiküller birleşerek daha büyük yapılar oluşturmuş ve yoğun, seramik benzeri bir ürün elde edilmiştir. Farklı sıcaklıklarda yapılan sinterleme işlemleri sayesinde, sıcaklığın sinterlenmiş ürünün yoğunluğu ve gözeneklilik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

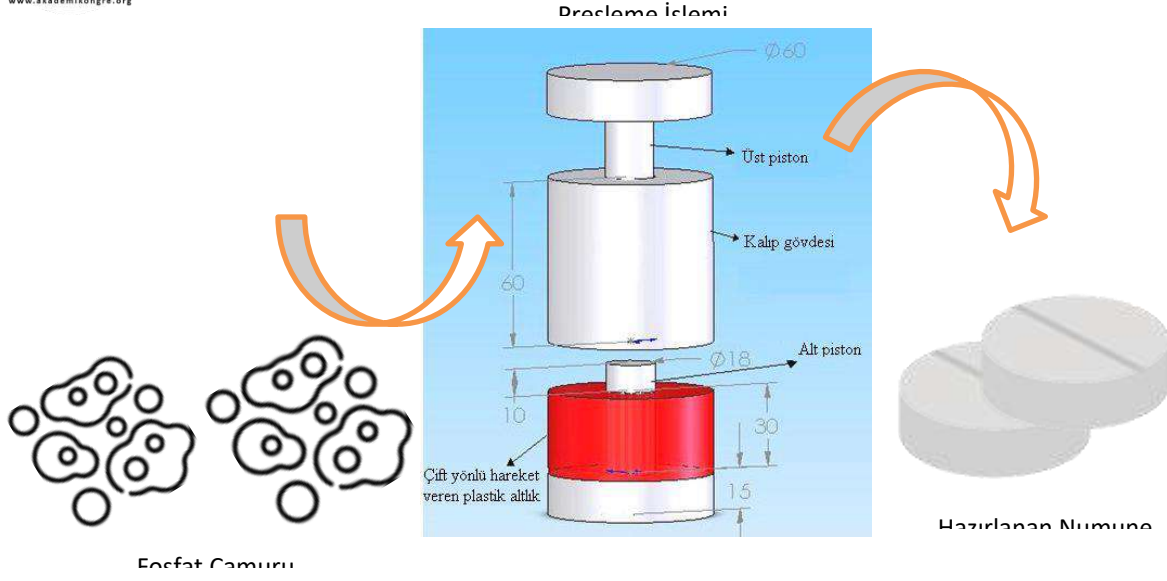
2.3. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)

SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) çinko fosfat kaplama prosesinde oluşan çamurun yüzey morfolojisi ve element bileşimi hakkında detaylı bilgi sağlayan iki önemli analiz yöntemidir. Çamur numunelerinin yüzey morfolojisi ve element bileşimi, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizleri ile incelenmiştir. SEM analizi ile çamurun gözeneklilik, tane boyutu ve yüzey pürüzlülüğü gibi morfolojik özellikleri hakkında detaylı bilgi elde edilmiştir. SEM analizleri, sinterleme sürecinin anlaşılması ve ürün kalitesinin değerlendirilmesi açısından önemli veriler sağlamıştır.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

3.1. Çamur Numunelerin Hazırlanması ve Sinterlenmesi

Laboratuvar ortamında, elde edilen çamur numuneleri üzerinde detaylı analizler yapabilmek için ön işleme tabi tutulmuştur. Öncelikle, numunelerdeki organik maddelerin uzaklaştırılması ve mineral yapının daha net ortaya çıkması amacıyla 150°C sıcaklıkta 90 dakika süreyle kalsine edilmiştir. Bu işlem sonucunda elde edilen numuneler, daha sonra öğütülerek ince bir toz haline getirilmiştir. Son olarak, elde edilen toz numuneleri, çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenebilmesi için çelik kalıplarda belirli şekillerde preslenmiştir. Şekil 1'de numune hazırlama adımları gösterilmiştir.



Şekil 1. Numune hazırlama adımları

Hazırlanan numuneler (şekil 2), ön işleme olarak 400°C’de yarım saat tutulduktan sonra, sırasıyla 800, 900 ve 1000°C’de belirli süreler boyunca sinterlendi. Bu süreçte, çamur içindeki su buharlaşırken, tanecikler ısı etkisiyle difüzyon sayesinde birbirine yapışarak daha büyük ve sıkı bir yapı oluşturdu. Sinterleme öncesi geometrik yoğunluk değeri, 1,645 (g/cm³) olarak ölçülmüştür.



Şekil 2. 800°C, 900°C ve 1000°C sinterlenmiş fosfat çökelti numuneleri

3.2. Numunelerin Yoğunluk Sonuçları

Tablo 1’de, fosfat çamuru numunelerinin farklı sinterleme sıcaklıklarında (800°C, 900°C ve 1000°C) sinterleme öncesi ve sonrası geometrik yoğunlukları ile sinterleme sonrası Arşimed

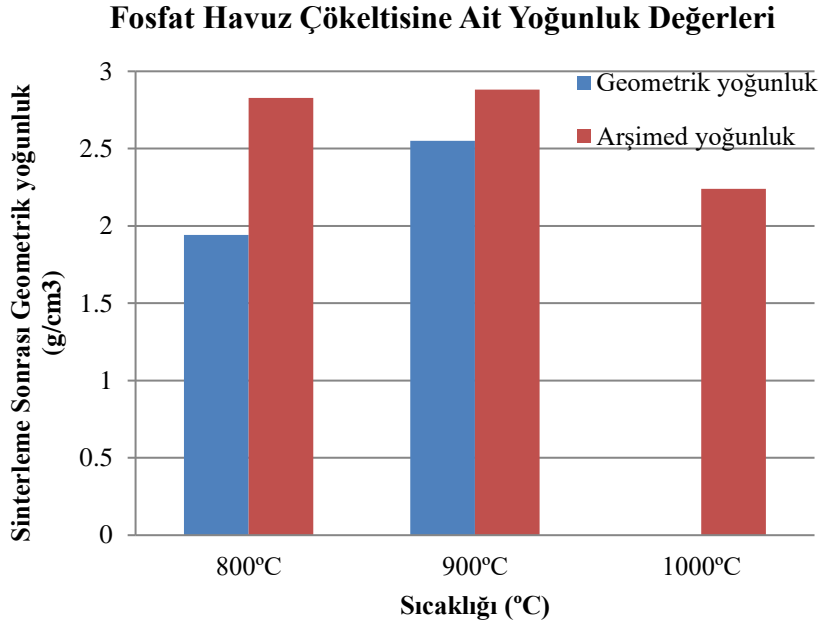
yoğunlukları verilmiştir. Sinterleme öncesi geometrik yoğunlukları birbirine yakın değerler göstermektedir. Bu durum, numunelerin başlangıçtaki homojenliğini ve benzer bir yapıya sahip olduklarını gösterir.

Sinterleme işlemi sonrasında geometrik yoğunluklarda belirgin değişimler gözlemlenmiştir. Özellikle 900°C'de sinterlenen numunede geometrik yoğunlukta önemli bir artış görülmektedir. Bu durum, sinterleme işlemi sırasında yoğunlaşmanın gerçekleştiği ve gözeneklerin kapanarak daha yoğun bir mikroyapının oluştuğu ve böylece yoğunluğun arttığı görülmüştür.

Tablo 1. Farklı sinterleme sıcaklıklarında fosfat havuz çökeltisine ait yoğunluk değerleri

Fosfat Havuz Çökeltisine Ait Yoğunluk Değerleri		
Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Sonrası Geometrik yoğunluk (g/cm ³)	Sinterleme Sonrası Arşimed yoğunluk (g/cm ³)
800	1,942	2,828
900	2,550	2,881
1000	N/A	2,240

Arşimed yoğunlukları (şekil 3), numunelerin gerçek yoğunluklarını temsil eder. Tüm numunelerde sinterleme sonrası Arşimed yoğunluklarının sinterleme öncesi geometrik yoğunluklardan daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, sinterleme işlemi sırasında gözeneklerin azalması ve numunenin daha kompakt bir hale gelmesiyle açıklanabilir.

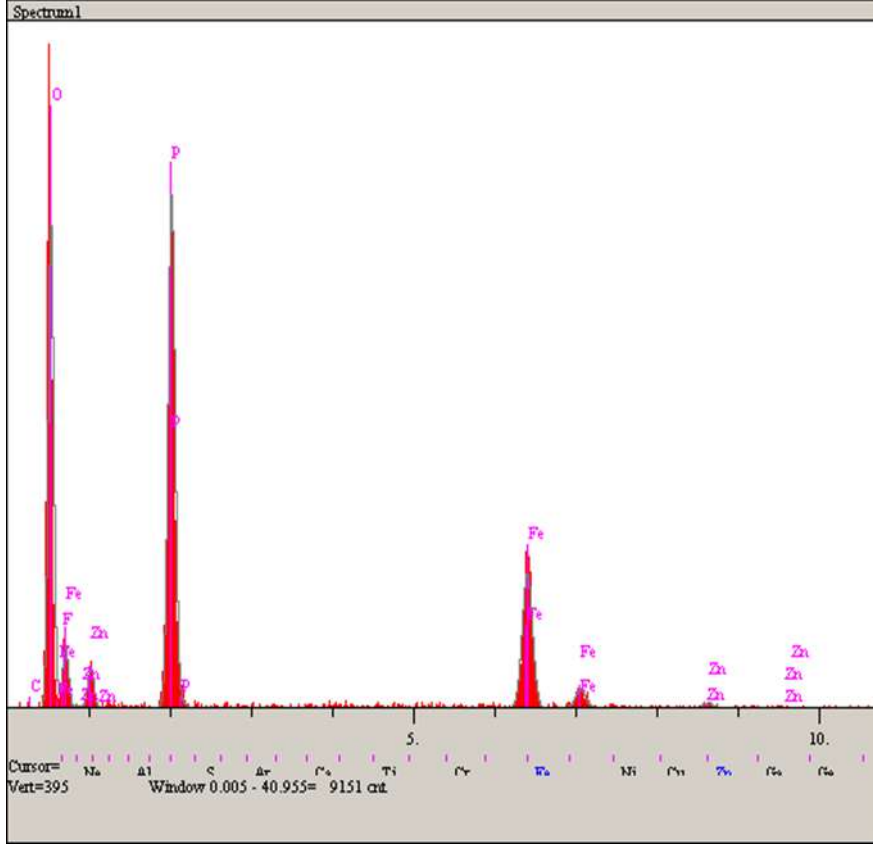


Şekil 3. 800°C, 900°C ve 1000°C sinterlenmiş fosfat çökelti numuneleri yoğunluk değerleri

Genel olarak, sinterleme sıcaklığı arttıkça Arşimed yoğunlukları da artma eğilimi göstermektedir. Ancak 1000°C'de sinterlenen numunede beklenenin aksine bir düşüş görülmektedir. Bunun sebebi difüzyon hızı sıcaklıkla artsa da uçucu nitelikte yada yüksek sıcaklıkta yeni reaksiyonlarla oluşabilecek kısmi gaz basıncı yüksek olan bileşiklerin oluşumuna işaret etmektedir. Bu durumu net şekilde SEM resimlerinden yoğunlaşma davranışını inceleyerek ve optik resimlerden şekilsel deformasyon (şişme vs) ile anlayabiliriz.

3.3.Enerji Dispersiv Spektrum (EDS) Analizi

Çamur atığının 150°C'de ısıl işlem gördükten sonra elde edilen tozların EDS kimyasal analizi ile kantitatif olarak elementel analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen EDS grafiği (Şekil 4) ve kantitatif dağılımı Tablo 2'de verilmiştir. Şekil 4'teki elementlerin grafiksel dağılımına ve Tablo 2'deki yüzde dağılım verileri incelendiğinde ana elementler olarak O ve P ve az miktarda Zn ve Fe tespit edilmiştir. P ve Zn kaplama ünitesinden gelen kaplama, Fe elementi çelik filmaşından kopan elementler olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4. Arıtma çamur atık tozlarının EDS grafiği

Tablo 2. EDS Elementel analiz sonucu

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt. %	
O	Ka	238.81	9.774	39.694	wt. %	
F	Ka	0.00	0.000	0.000	wt. %	
P	Ka	316.74	11.256	25.519	wt. %	
Fe	Ka	122.08	6.988	31.496	wt. %	
Zn	Ka	4.30	1.312	3.291	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

3.4. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)

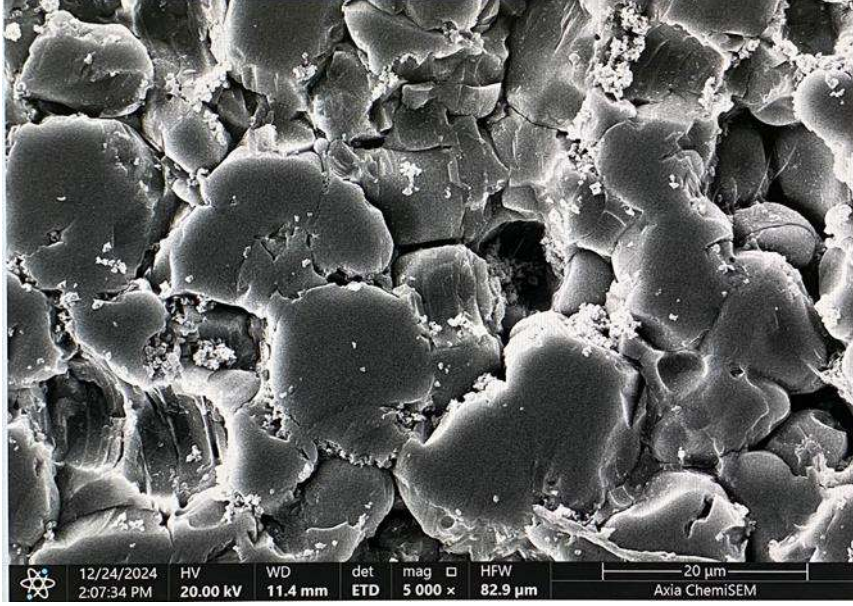
Şekil 5’de verilen SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntüsü, çinko fosfor kaplama çöktürmesinin 800°C sıcaklığında sinterlenmesi sonucu oluşan malzemenin mikro yapısı

göstermektedir. SEM görüntüsünde, sinterlenmiş çinko fosfor kaplama havuz atık çamurunun düzensiz şekilli ve farklı boyutlardaki taneciklerden oluşan heterojen bir yüzey yapısına sahip olduğu görülmektedir. Tanecik boyutlarının farklı olması, havuzdan alınan ve kalsine edilen hammaddenin, herhangi bir eleme ve boyutlandırma işlemine tabi tutulmaması ve öğütülmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. 800°C’de yapılan sinterleme işlemi, çamurdaki parçacıkların bir araya gelerek daha büyük tanecikler oluşturmuş ve ancak sıcaklık yüksek yoğunlaşma seviyelerine ulaşmak için yetersiz olduğu için yapıda belirgin gözenekler kalmıştır.



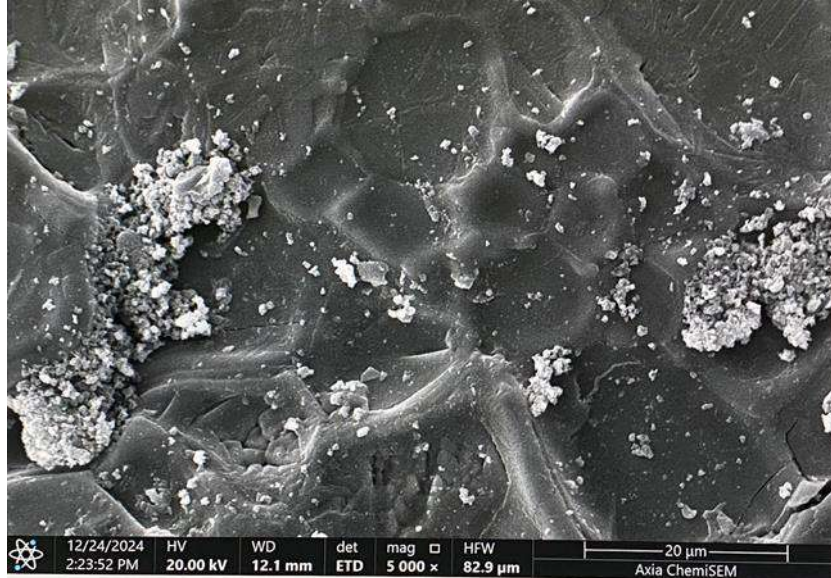
Şekil 5. 800°C’de sinterlenmiş numuneye ait SEM görüntüsü

Şekil 6’de verilen SEM görüntüsüne bakıldığında, 800°C’de sinterlenmiş numuneye göre önemli ölçüde yoğunlaşmanın gerçekleştiği, gözeneklerin önemli ölçüde azalmakla birlikte az miktarda hala yapıda mevcut olduğu söylenebilir. 900°C’lik sinterleme sıcaklığı, 800°C’ye göre daha fazla sinterlenmeye ve daha yoğun genel olarak oluşmasına yol açmıştır.



Şekil 6. 900°C’de sinterlenmiş numuneye ait SEM görüntüsü

1000°C’de sinterlenmiş numunenin SEM görüntüsünde (Şekil 7), sinterlenmiş çinko fosfor kaplama havuz atık çamurunun 800°C ve 900°C sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelere göre daha yoğun neredeyse tam yoğun izlenimi veren ve gözeneksiz bir mikro yapı olduğu görülmektedir. 1000°C’de sinterlenme sıcaklığı, 800°C ve 900°C’ye göre daha fazla difüzyona imkan verdiği için daha etkili bir yoğunlaşma mümkün olmuştur.



Şekil 7. 1000°C’de sinterlenmiş numuneye ait SEM görüntüsü

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen fiziksel ve mikroyapısal incelemeler sonucunda elde edilen veriler ele alınırsa, 800°C’de yeterli difüzyona bağlı sinterleme etkinliğinin olmadığı, gözenek yapısının hala mikroyapıda belirgin olduğunu görülürken, 900°C’de yapılan sinterleme sonucunda ise yoğunluk değerli kayda değer şekilde artmıştır. 1000°C’de yoğunlaşma davranışı maksimize olsa da, 900°C üzerinde yapılacak sinterleme sıcaklığının yapıyı bozmaya başladığı anlaşılmıştır. 1000°C’de yapılan sinterleme sonucunda yapının içinde gaz üreten bir reaksiyon sonucu şişme davranışı görülmüş, buda yoğunluk değerini düşürmüş, kullanılabilir ürün ortaya çıkmamıştır.

Hem SEM resimlerinden hem de şekilsel kararlılığın devamı ve hacimsel büzülme oranına göre 900°C’de yapılan sinterleme sonucunda ise yoğunluğun optimum değer olarak belirlenmiştir. Yapılacak CIP ön işlemi ile 900°C’de tam yoğun yapı eldesinin mümkün olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Narayanan TSNS. Surface pretreatment by phosphate conversion coatings. *Rev Adv Mater Sci* 2005;9:130–77.
- [2] Narayanan TSNS. Corrosion resistance of phosphate coatings obtained by cathodic electrochemical treatment. *Prog Org Coating* 2006;55:355–62.
- [3] Zhang S. The growth of zinc phosphate coatings on 6061-Al alloy. *Surf Coating Technol* 2008;202:1674–80.
- [4] Wang M, Ma R, Du A, Hu S, Muhammad M, Cao X, Wu J. Corrosion resistance of black phosphorus nanosheets composite phosphate coatings on Q235 steel. *Mater Chem Phys* 2020;250:123056.
- [5] Zhang Y, Chen X, Tan H. Effect of ultrasonic treatment on the morphology and corrosion resistance of zinc-manganese phosphate coatings on 16Mn steel in 3.5% sodium chloride. *Int J Electrochem Sci* 2023;18(9):100274.

- [6] Duszczyk J, Siuzdak K, Klimczuk T, Strychalska-Nowak J, Zaleska-Medynska A. Modified manganese phosphate conversion coating on low-carbon steel. *Materials* 2020;13(6):1416.
- [7] Al-Swaidani AM. Modified zinc phosphate coatings: a promising approach to enhance the anti-corrosion properties of reinforcing steel. *MOJ Civil Eng* 2017;3 (5):370–4.
- [8] Balasubramanian J, Kumar V, Kirubakaran M, Lalwani R. A study on automotive sheetmetal surface pretreatment: liquid activation and low temperature phosphating (No. 2023-28-1324). 2023. SAE Technical Paper.
- [9] Doerre M, Hibbitts L, Patrick G, Akafuah NK. Advances in automotive conversion coatings during pretreatment of the body structure: a review. *Coatings* 2018;8(11): 405.
- [10] Lazar P, Cimpoesu N, Istrate B, Cazac AM, Burduhos-Nergis DP, Benchea M, Bejinariu C. Microstructural and mechanical properties analysis of phosphate layers deposited on steel Rebars for civil constructions. *Coatings* 2024;14(2):182.
- [11] Padma M, Shanmugam S, Ravichandran K. Sodium silicate assisted manganese phosphate chemical conversion coating on D2 steel at various concentration. *Surface Interfac* 2020;20:100547.
- [12] Ucaroglu S., 2002. Solidification and recovery of automotive industry hazardous wastes. Ph.D. Thesis, ITU Institute of Sciences.
- [13] Bayar, S., Demir, I., Onkal Engin, G., 2009. Modeling leaching behavior of solidified wastes using back-propagation neural networks. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72, 843e850.
- [14] Caponero, J., Tenório, J.A.S., 2000. Laboratory testing of the use of phosphatecoating sludge in cement clinker. *Resources Concervation & Recycling* 29,

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ SIRLARINDA KULLANILAN BAĞLAYICI VE BAKTERİ ÖNLEYİCİ MALZEMELERİN YÜZEY ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Beste Bultan TUNA

Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.,
beste.tuna@creavit.com.tr - 0000-0002-6097-3002

İrem ALTINOK

Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.,
irem.altinok@creavit.com.tr - 0000-0001-9217-6502

Sezer KULLUK

Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.,
sezer.kulluk@creavit.com.tr - 0009-0009-9631-5368

Orçun ZIRTI

Çanakcılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.,
orcun.zirtil@creavit.com.tr - 0009-0007-4277-5049

Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
fcaliskan@subu.edu.tr - ORCID ID 0000-0002-9568-7049

ÖZET

Seramik Sağlık Gereçleri (SSG), geniş bir sıhhi ürün gurubunu kapsamakta olup, lavabo, klozet, bide ve rezervuar gibi seramik ürün gruplarını içermektedir. SSG ürünlerinde bünye ve sır olmak üzere iki ana yapı bulunmaktadır. SSG sırası feldspat, kuvars, zirkon, çinko ve bu hammaddelere yüzdürücü özellik kazandırılması amacıyla kaolen kullanılmaktadır. Tüm bu hammaddelerin karakteristiği, son ürünün yüzey özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Hammaddelerin değirmen fazında karıştırılmasının ardından SSG sıranın, SSG bünye üzerinde uygulaması esnasından yüzeye tutunabilmesi ve homojen şekilde yayılabilmesi gerekmektedir. Bu sebepten dolayı SSG sınırlarını viskozitesi arttırmak ve reolojik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla bağlayıcılar kullanılmaktadır. Kullanılan bağlayıcıların içerdikleri organik malzeme

miktarları göz önünde bulundurularak üreticilerin geliştirdikleri bakteri önleyiciler ile birlikte kullanılmaktadır. Bu çalışma, SSG sırlarında kullanılan farklı bağlayıcı ve bakteri önleyici malzemeler (Bağlayıcı-1/Bakteri Önleyici-1 ve Bağlayıcı-2/Bakteri Önleyici-2) reolojik ve yüzey özellikleri üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Sırın hazırlama aşamalarında litre ağırlığı, viskozite, kuruma süreleri gibi parametreler kaydedilmiş; pişirim sonrası yüzey morfolojisi, renk, parlaklık ve bakteri oluşum durumu analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Seramik Sağlık Gereçleri, Sır, Sır Bağlayıcı, Yüzey Özellikleri

1. GİRİŞ

Seramik sağlık gereçleri, günlük hayatımızda yaygın olarak kullanılan ürünlerdir ve hem estetik hem de hijyen açısından önemli özelliklere sahiptirler. Bu tür seramiklerin üretiminde kullanılan bağlayıcılar ve bakteri önleyici malzemeler, sağlık gereçlerinin fonksiyonel özelliklerini ve güvenliğini artırmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu bağlayıcı ve bakteriyel önleyici malzemelerin seramiklerin yüzey özelliklerine olan etkileri, hem malzeme bilimi hem de sağlık alanında önemli bir araştırma konusudur [1-3].

Seramik Sağlık Gereçleri üretimi iki ana yapıdan oluşmaktadır. Bunları Seramik Sağlık Gereçleri Bünyesi (SSG Bünye) ve Seramik Sağlık Gereçleri Sırıdır (SSG Sır). SSG sırası, SSG bünyenin üzerinde pişirim sonrasında ince bir katman haline olan camsı bir fazdır. Pişirim öncesinde SSG bünye üzerine SSG sırnın uygulaması önemli bir husus oluşturmaktadır. Seramik sektörüne bakıldığında SSG sırnın uygulama yöntemleri olarak dökme, fırça ile sürme, akıtma, tozlama, tuzlama, elektrostatik sırlama ve pistole ile püskürtme gibi çeşitli teknikler kullanılmaktadır. SSG sırların uygulanması esnasında ise ağırlıklı olarak pistole ile püskürtme yöntemi uygulanmaktadır. Pistole ile püskürtme yöntemi ise artık günümüzde endüstrinin ihtiyaçları doğrultusunda robotlar kullanılarak yapılmaya başlanılmıştır. Pistole ile püskürtme işlemi esnasında, özellikle de robot vasıtasıyla yapılacaksa sırnın bağlayıcı kullanılarak viskozitesinin optimum hale getirilmesi gerekecektir [4-5].

Seramik sağlık gereçleri üretiminde kullanılan bağlayıcılar ve bakteriyel önleyici malzemeler, seramiğin yüzey özellikleri üzerinde önemli değişikliklere neden olabilir. Bu malzemeler, hem mekanik dayanım hem de biyolojik uyumluluk açısından seramiğin performansını artırır.

Özellikle bakteriyel önleyici malzemeler, sağlık gereçlerinin hijyenik özelliklerini geliştirmekte ve mikrobiyal enfeksiyon risklerini azaltmaktadır. Bu nedenle, seramik sağlık gereçlerinin üretiminde bu tür malzemelerin doğru seçimi, hem kullanıcı sağlığı hem de ürün performansı açısından kritik öneme sahiptir [6-7].

SSG sırları üretimleri esnasında kullanılan hammaddelerin içerisinde hem öğütme esnasında yuzdürücü özellik sağlayarak, bir miktar reolojik özellik kazandırılması amacıyla kaolen kullanılmaktadır. Sırın reolojik özellikleri, başta uygulama ve pişirim işlemleri esnasında önemli bir etki sağlamaktadır. Bu özellikleri kazandırılmasındaki en önemli etken ise bağlayıcılardır. Bağlayıcılar sırın SSG bünye üzerindeki yüzeye tutunmasına ve homojen olarak dağılabilmesinde çok önemli rol oynamaktadır. Bu özelliğin kazandırırken de içerdikleri organik bileşen sebebiyle bağlayıcı ile uyumlu bakteri önleyiciler kullanılması tavsiye edilmektedir [1,7].

Bu çalışmada iki farklı bağlayıcı ve bu bağlayıcılar için tavsiye edilen bakteri önleyiciler kullanılmıştır. Kullanılan bağlayıcı ve bakteri önleyici kombinasyonu; Bağlayıcı 1/Bakteri Önleyici 1 ve Bağlayıcı 2/Bakteri Önleyici 2 olarak tanımlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada ticari olarak satılan hidrokolloid yapıya sahip CMC modifikasyonuna sahip Bağlayıcı 1 ve Bağlayıcı 2 ve bu bağlayıcı üreticilerinin tavsiye ettiği bağlayıcı organik yapılarına uygun bakteri önleyiciler kullanılmıştır. İşletme çaplı yapılan bu çalışmalarda kullanılan su ve su içerisinde belli bir oranda uygulanan bağlayıcının cP cinsinden viskozite özelliği Brookfield LVDV-II+PRO Viskozimetre kullanılarak, reolojik özellikler Anton Paar marka Modular Kompakt Reometre MCR 72 kullanılarak, iletkenlik ve tuzluluk değerleri WTW marka Cond 3110 kullanılarak, pH değeri WTW marka pH3110, bakteri ve mantar testi ise Merck Marka Cult Dip combi kiti kullanılarak yapılmıştır. Antibakteriyel testlerde E.coli, Enterococcus Faecalis, Proteus Mirabilis, Penicillium commune, klebsiella pneumoniae ve pseudomonas aeruginosa bakterileri kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak ise Karboksimetil selüloz (CMC) bazlı bağlayıcı kullanılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bağlayıcı eklenen sırların hazırlanması esnasında ve bu sırların eş yoğunlukta olmasının sağlanabilmesi amacıyla çalışmada kullanılan suyun değerleri incelenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Kullanım Suyunun Fiziksel Özellikleri.

	Çalışmada Kullanılan Su
Viskozite (cP)	0
İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	677
Tuzluluk (%)	0,2
pH	7,63

Bu çalışmada kullanılan bağlayıcıların su içerisinde %1'lik çözeltilerinin hazırlanması sonucundaki kontrol değerleri incelenmiştir. Bağlayıcı 1'in Bağlayıcı 2'ye göre daha düşük viskozite, daha yüksek iletkenlik, daha yüksek tuzluluk ve daha yüksek pH'a sahip olduğu gözlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Bağlayıcılara Ait Girdi Kontrol Sonuçları.

(Su içerisinde)	Bağlayıcı 1	Bağlayıcı 2
%1'lik Viskozite (cP)	1588	2544
%1'lik iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	3420	1623
%1'lik tuzluluk (%)	1,8	0,8
%1'lik pH	8,43	7,78

Hazırlanan bu çözeltilere reolojik kontroller de yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde Bağlayıcı 2 numunesinin Bağlayıcı 1'e göre düşük ve yüksek kayma hızlarından daha yüksek viskozite sağlayabildiğini göstermiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Bağlayıcılara Ait Reolojik Kontrol Sonuçları.

Reçete	Viskozite (Pa.s)		Toparlanma (%)		Amplitude (LVE)		Amplitude (Bozulma)	
	0,1 (1/s)	300 (1/s)	5 sn	10 sn	LVE	G'>G'' (Pa)	Curve Cross Over	G'=G'' (Pa)

Bağlayıcı 1	12,85	0,08	73,5	81,3	10	8,7	-	-
Bağlayıcı 2	24,21	0,35	62,3	64,4	6,06	32,5		

Kullanılan Bakteri önleyicilerin değerleri kontrol edilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Bakteri Önleyicilerine Ait Girdi Kontrol Sonuçları.

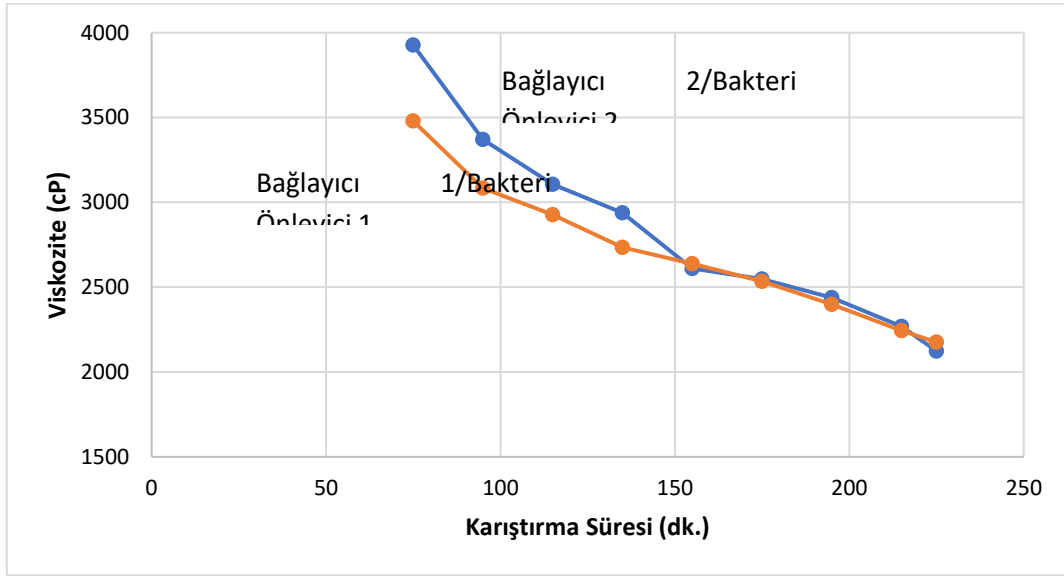
	Bakteri Önleyici 1	Bakteri Önleyici 2
İletkenlik (mS/cm ²)	31,3	8,76
pH	3,54	3,27

Bağlayıcı/Bakteri Önleyici kombinasyonlarının işletme bazlı olarak 350 kg SSG sırtı içerisinde uygulanmıştır. Uygulama %0,22 Bağlayıcı ve %0,10 Bakteri önleyici olarak yapılmıştır. Uygulama esnasında Bağlayıcı 2/Bakteri Önleyici 2'nin ani yoğunlaşma meydana getirdiği gözlenmiştir (Görsel 1).



Görsel 1. İşletme Çaplı Yapılan Çalışmaya Ait Görseller.

Yapılan çalışmalarda her iki kombinasyonun SSG sırtı içerisine 10 dk. sürede sepeleyerek uygulanmış, ardından 30 dk. boyunca karıştırma işlemine tabi tutulmuş ve ardından 120 dk. durağan şekilde beklemişlerdir. Beklemenin ardından 25 dk. daha karıştırılmışlardır. Aydından brookfield viskozite ile viskozite ölçümleri yapılmaya başlanılmıştır. Çözeltilerin karıştırmaya bağlı viskozite değişimleri incelenmiştir. Bağlayıcı 2/Bakteri Önleyici 2 karışımının ilk viskozite değerinin, Bağlayıcı 1/Bakteri Önleyici 1 viskozite değerine göre daha yüksek olduğu fakat toplam 160 dk. sonrasında aradaki fark kapanmış ve eş viskoziteye sahip oldukları tespit edilmiştir (Görsel 2).



Görsel 2. Karıştırmaya Bağlı Viskozite Değişim Grafiği.

Bağlayıcı 1/Bakteri Önleyici 1 ve Bağlayıcı 2/Bakteri Önleyici 2 uygulanan SSG sırlarının uygulama süreçleri ve SSG sırlarının, SSG bünye üzerine uygulanabilmesi amacıyla eş ayar değerlerine getirilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. İşletme Çaplı Yapılan Çalışmaya ait ayar değerleri

Miktar (kg)	350	350
Bağlayıcı	%0,22 Bağlayıcı 1	%0,22 Bağlayıcı 2
Bakteri Önleyici	%0,10 B. Önleyici 1	%0,10 B. Önleyici 2
Sepelme (dk.)	10	15
İlk karıştırma (dk.)	30	30
Bekleme (dk.)	120	120
Bekleme Sonrası Karıştırma (dk.)	215	215
<u>AYAR</u>		
Litre Ağırlığı (g/L)	1750	1750
Viskozite (cP)	2176	2124
Tor 1	165	165
Sıcaklık (°C)	17	17
Kuruma Hızı (sn.)	104	118

Hazırlanan ve ayar değerine ulaşan SSG sırlarına ait reolojik kontroller gerçekleştirilmiştir. 300 s-1 değeri 0,28-0,29 Pa.s arasında, LVE ise 22-26 Pa.s arasında değişmektedir. Bağlayıcı 2/Bakteri Önleyici 2 koldu denemenin LVE değeri, Bağlayıcı 1/Bakteri Önleyici 2'ye nazaran %10 daha yüksek olduğu gözlenmektedir (Çizelge 6).

Çizelge 6. İşletme Çaplı Hazırlanan Çalışmaya Ait Reolojik Kontroller.

Reçete	Viskozite (Pa.s)			Toparlanma (%)		Amplitude (LVE)		Amplitude (Bozulma)	
	0,1 (1/s)	106 (1/s)	300 (1/s)	5 sn	10 sn	LVE	G'>G'' (Pa)	Curve Cross Over	G'=G'' (Pa)
SSG Sır + Bağlayıcı 1/Bakteri Önleyici 1	16,24	0,41	0,28	102,6	112,9	0,82	22,9	3,5	8,5
SSG Sır + Bağlayıcı 2/Bakteri Önleyici 2	18,02	0,42	0,29	101,7	116,8	0,82	25,2	4,3	9,4

Hazırlanan bu SSG sırları işletmede sabit bir sırlama robotu kullanılarak pistole ile püskürtme yöntemi kullanılarak uygulanmıştır (Soldaki görsel Bağlayıcı 1/Bakteri Önleyici 1 ve Sağdaki görsel Bağlayıcı 2/Bakteri Önleyici 2). Görselde de gözlemlendiği üzere Bağlayıcı 1/Bakteri Önleyici 1 ile sırlanan üründe ön bant bölgesinde akma gözlenmesine rağmen, Bağlayıcı 2/Bakteri Önleyici 2 ile sırlanan üründe akma tespit edilmemiştir.



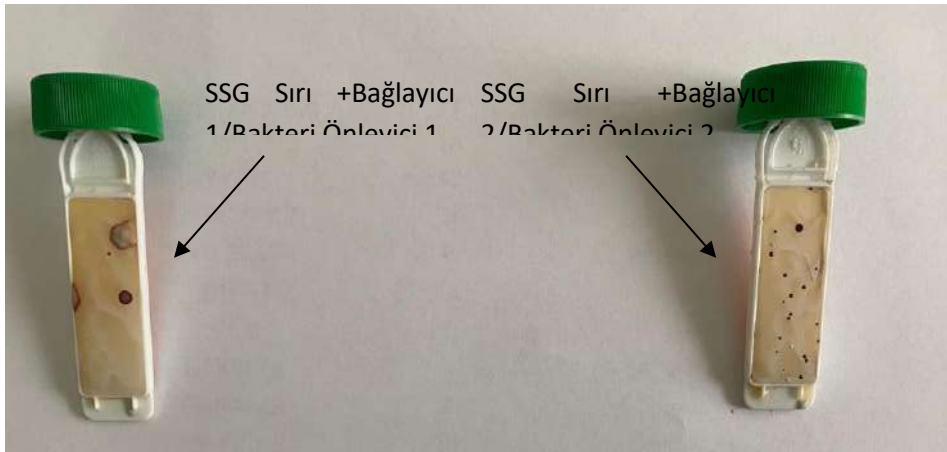
Görsel 3. Hazırlanan SSG Sırlarının Uygulama Sonucu

Hazırlanan SSG sırlarının fiziksel özellikleri kontrol edilmiştir (Çizelge 7).

Çizelge 7. İşletme Çaplı Hazırlanan Çalışmaya Ait Fiziksel Kontroller.

	SSG Sır + Bağlayıcı 1/Bakteri Önleyici 1	SSG Sır + Bağlayıcı 2/Bakteri Önleyici 2
Litre Ağırlığı (g/L)	1750	1750
İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	1320	1044
Tuzluluk (%)	0,6	0,5
pH	9,13	9,15

48 saatlik inkübasyon süresi boyunca bakteriyel ve fungal aktivite incelenmiştir (Görsel 4). Bağlayıcı 1/Bakteri Önleyici 1 kullanılan SSG sırlarının, Bağlayıcı 2/Bakteri Önleyici 2 kullanılan SSG sırlarına göre daha az bakteri ürettiği tespit edilmiştir. Her iki çalışmada da mantar aktivasyonu gözlenmemiştir.



Görsel 4. İşletme Çaplı Hazırlanan Sırlara Ait 48 saat Sonundaki Bakteriyel ve Fungal Aktivite.

Yapılan çalışma sonucunda hazırlanan sırlarla sırlanan ürünlerin pişirim sonucunda renk değerleri ölçülmüştür (Çizelge 8).

Çizelge 8. İşletme Çaplı Hazırlanan Çalışmaya Ait Fiziksel Kontroller.

Reçete	RENK ÖLÇÜMÜ		
	L	a	b
SSG Sır + Bağlayıcı 1/Bakteri Önleyici 1	91,20	-0,59	-0,57
SSG Sır + Bağlayıcı 2/Bakteri Önleyici 2	91,01	-0,56	-0,52

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bağlayıcı 2/Bakteri Önleyici 2'nin su içerisindeki %1'lik çözeltisinin yüksek viskozite sağlaması, yine benzer şekilde SSG sıırı içerisinde de yüksek viskozite sağlamasına rağmen karıştırma süresi arttıkça Bağlayıcı 1/Bakteri Önleyici 1 çalışmasındaki değerlere aynı değerlere sahip olduğu gözlenmektedir. Bu durumda da daha az miktarda kullanılarak, benzer viskoziteleri sağlayabilmesine olanak tanıyacaktır. Fakat Bağlayıcı 2/Bakteri Önleyici 2 kullanılan SSG sıırının, Bağlayıcı 1/Bakteri Önleyici 1 kullanılan SSG sıırına göre daha fazla bakteri oluşturması işletmelerde sırların uygulanmasının ardından artık sırların tekrar kullandığı göz önünde bulundurulduğunda dezavantaj sağlamış olacaktır. Yüzey özellikleri incelendiğinde Bağlayıcı 2/Bakteri Önleyici 2'in kuruma hızı, Bağlayıcı 1/Bakteri Önleyici 1'e nazaran daha yüksek olmasına karşın, uygulamada Bağlayıcı 2/Bakteri Önleyici 2 daha olumlu sonuç vermiştir. Görselde de gözlendiği üzere ön bant bölgesinde akma Bağlayıcı 1/Bakteri Önleyici 1'de gözlenmiştir. Fırın çıkışı sonuçları incelendiğinde ise benzer sonuçlar ile karşılaşmıştır.

KAYNAKÇA

1. Mosin, Y.M., Mamedova, A.Y. Temporary industrial binders for molding of industrial ceramics (Review). *Glass Ceram* 51, 249–254 (1994).
2. Eppler R. A., Eppler D. A., *Glazes And Glass Coatings*, American Ceramic Society, 2000
3. Hiraga, H., & Sato, K. (2018). Surface characteristics of ceramics for dental applications: The effect of binder materials and antimicrobial agents. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(3), 415-421.

4. Pinto, S., & Silva, E. (2020). The influence of antimicrobial agents in the surface properties of ceramics. *Ceramics International*, 46(10), 15142-15149.
5. Yılmaz, H., & Ozdemir, A. (2022). Effect of antimicrobial and antibacterial surface treatments on the physical properties of ceramic materials. *Materials Science and Engineering: C*, 114, 112064.
6. Brito, A. P., & Almeida, F. M. (2021). Bioactive and antimicrobial ceramics in medical applications. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 32(7), 85.
7. Li, Z., & Chen, S. (2023). Antimicrobial activity and surface modification of ceramic materials for healthcare applications. *Surface and Coatings Technology*, 446, 128863.

ÇİNKO FOSFAT KAPLAMA PROSESİNDE DURULAMA HAVUZ ÇAMURUNUN İNCELENMESİ VE YOĞUNLAŞTIRILMIŞ ÜRÜN ELDE ÇALIŞMASI

Muhammet Barış EKİCİ

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme
Mühendisliği Bölümü, m.baris.ekici@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4263-0636

Sıla TOPÇU

Aydın Endüstri San Tic A.Ş. AR-GE Merkezi, Kozluk Mahallesi, D-100 Yan Yol D:No: 10,
54200, Sakarya, cevre@aydinendustri.com, ORCID: 0000-0003-0681-8033

Murat ZENGİN

Aydın Endüstri San Tic A.Ş. AR-GE Merkezi, Kozluk Mahallesi, D-100 Yan Yol D:No: 10,
54200, Sakarya, murat.zengin@aydinendustri.com, ORCID: 0000-0002-6171-5574

Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
fcaliskan@subu.edu.tr - ORCID ID 0000-0002-9568-7049

ÖZET

Çinko fosfat kaplama sürecinde, yüzey hazırlama ve fosfat kaplama işlemi sırasında çeşitli kimyasal reaksiyonlar ve çözeltinin kirlenmesi sonucunda, arıtma sistemleri (özellikle durulama havuzları) tarafından toplanan atıklar önemli bir yan ürün olarak ortaya çıkar. Bu atıklar, durulama havuzu çamuru ya da arıtma çamuru olarak bilinir. Çinko fosfat prosesinde durulama aşaması, genellikle kaplama çözeltisinin metal yüzeyinden temizlenmesi amacıyla kullanılır. Bu işlem, kirlenmiş maddelerin birikmesine ve dolayısıyla çamurun oluşmasına yol açar. Arıtma çamuru, kimyasal bileşikler, çözünmüş metaller ve çeşitli organik maddeler içerir ve uygun şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Durulama havuzu çamuru, çinko fosfat kaplama işleminde kullanılan çözeltinin arıtılması sürecinde oluşan katı atıklardır. Bu çamur, kaplama çözeltisinin metal yüzeylerinden durulama işlemi ile uzaklaştırılması esnasında çözeltiden ayrılan çökeltilerden oluşur. Çamur, çözeltideki fazlalık çinko, fosfat iyonları, ağır metaller ve diğer kimyasal bileşenleri içerir. Genelde arıtma çamuru, çinko fosfat bileşenleri, ağır metaller, asidik ve alkali bileşikler ve organik maddeler içerebilmektedir. Durulama havuzu çamuru,

içerdiği ağır metaller ve kimyasal maddeler nedeniyle çevreye zarar verebilecek potansiyele sahiptir. Bu nedenle, çamurun yönetimi ve bertarafı son derece önemlidir. Toprak ve su kirliliği, hava kirliliği ve insan sağlığına etkileri gibi önemli çevresel zararları olabilmektedir.

Arıtma çamuru ile ilgili yukarıda bahsi geçen sebeplerden ötürü bu çalışmada, filmaşinlerin çinko fosfat kaplanması prosesinde önce kimyasal olarak yüzey temizliği yapılacak, sonra çinko fosfat kaplanacaktır. Daha sonra filmaşinler durulama havuzuna alınır. Burada tekrarlı durulama sonrasında havuz dibinde çamur çöktürülmesi oluşacaktır. Oluşan artıma çamuru sıyırılarak havuzdan uzaklaştırılacaktır. Toplanan çamurlar, öncelikle kalsine edilerek kurulacak sonrasında öğütülerek ince toz boyutlarına getirilecektir. Sonrasında çelik kalıpta şekillendirilen ham numuneler, 800°C üzerinde farklı sıcaklıklarda sinterlenerek bulk hale getirilecektir.

Anahtar Kelime: Çinko, fosfat, arıtma çamuru, durulama çamuru, sinterleme

1. GİRİŞ

Çelik filmaşinlerin korozyona karşı direncini artırmak amacıyla uygulanan çinko fosfat kaplama işlemi, bir dizi kimyasal reaksiyonun bir araya gelmesiyle gerçekleştirilir [1,2]. Bu süreç, temel olarak metal yüzeyin hazırlanması, fosfat kristallerinin oluşumu ve yüzeyin nötralizasyonu olmak üzere üç ana aşamada incelenebilir [3]. Çelik filmaşinlerin asit banyosuna daldırılmasıyla başlayan süreçte, hidroklorik asit (HCl) çözeltisi metal yüzeydeki pas, oksit tabakası ve diğer kirleticileri çözerek temizler. Bu aşama, fosfat kaplamanın metal yüzeye daha iyi tutunması için gerekli olan temiz ve aktif bir yüzey sağlar. Asit temizleme işleminin ardından yüzey, bol su ile yıkanarak asit kalıntıları giderilir. Bu adım, sonraki aşamaları olumsuz etkileyebilecek asitlerin nötralle edilmesini sağlar. Yüzey, genellikle asit veya baz çözeltileri kullanılarak pürüzlü hale getirilir. Bu işlem, fosfat kristallerinin oluşumu için gerekli olan çekirdeklenme merkezlerinin sayısını artırarak kaplama kalitesini iyileştirir. Hazırlanan yüzey, çinko fosfat banyosuna daldırılır. Bu banyoda, metal yüzey ile çinko fosfat çözeltisi arasında karmaşık bir kimyasal reaksiyon meydana gelir. Sonuç olarak, metal yüzey üzerinde ince bir çinko fosfat kristalli tabakası oluşur. Bu tabaka, korozyona karşı dirençli bir bariyer oluşturur. Çinko fosfat kaplama işleminden sonra yüzey, tekrar bol su ile yıkanarak fazla çözelti ve tuz kalıntıları giderilir. Yüzey, genellikle kromat veya pasivasyon çözeltileri ile nötralle edilir. Bu işlem, asidik fosfat kaplamayı korur ve paslanmaya karşı ek bir direnç sağlar [4]. Bu süreçte, kullanılan kimyasal çözeltilerin nötralizasyonu ve arıtılması sonucu oluşan arıtma

çamuru demir, çinko ve fostat gibi ağır metaller açısından zengindir. Endüstriyel ham maddeler için yüksek değerli bir ikame olarak hem bir tehlike hem de bir fırsat sunmaktadır [5-7].

Bu çalışmada, filmaşınlerin çinko fosfat kaplama süreci incelenmiştir. İlk olarak, filmaşınler kimyasal olarak temizlenip çinko fosfat ile kaplanmıştır. Kaplama sonrası durulama havuzunda biriken çamur sıyırılarak havuzdan uzaklaştırılmıştır. Toplanan çamurlar kalsinasyon işleminden geçirilmiş, ardından öğütülerek ince toz haline getirilmiştir. Bu tozlar, çelik kalıplarda şekillendirilip 800°C üzerindeki farklı sıcaklıklarda sinterlenerek yoğun numuneler elde edilmiştir. Elde edilen toz ve sinterlenmiş numuneler EDS yöntemiyle karakterize edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

2.1. Çamur Numunelerinin Kalsinasyonu ve Sinterlenmesi

Bu çalışmada, çelik telin çinko fosfat kaplama durulama havuzundan alınan çamurların karakterizasyonu ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, fosfat kaplama tesisinin çamur çöktürme tanklarından alınan çamur numuneleri incelenmiştir. Farklı işlem aşamalarından elde edilen bu numuneler, prosesin farklı evrelerindeki çamur oluşum mekanizmalarını ve bileşimsel özelliklerini anlamak için kullanılmıştır. Numuneler, içerisindeki muhtemel düşük sıcaklıklı uçucular ve fiziksel suyun uzaklaştırılması için 150 °C’de 90 dakika süreyle kalsine edilmiş ve daha sonra farklı analiz teknikleri için ince toz haline getirilmiştir. Elde edilen tozlar, çelik kalıplarda preslenerek bulk numuneler elde edilmiş ve sinterleme öncesi hazır hale gelmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen çamur numunelerinden elde edilen ham peletler, optimum sinterleme sıcaklığını tespit etmek amacıyla farklı sıcaklıklarda sinterleme ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Ham numuneler, ilk olarak organiklerin uzaklaşması için 400°C’de 30 dakika boyunca ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş, ardından sırasıyla 800°C, 900°C ve 1000°C sıcaklıklarda 90dk sürelerde 3 farklı izotermal sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sinterleme işlemi sonucunda, presleme sırasında fiziksel olarak bir araya getirilen ve mekaniksel kilitleme şeklinde birbirine tutunan toz partikülleri, ısıl işlem sırasında maruz bırakılan ısı etkisiyle atomsal boyutta difüzyon ile birbirine yaklaşarak kimyasal olarak bağlanacak ve bu mekanizmayla teorik olarak daha yoğun bir yapıya dönüşmesi beklenir. Farklı sinterleme

sıcaklıklarının, elde edilen numunelerin yoğunluğu ve gözeneklilik oranı üzerindeki etkileri incelenerek, optimum sinterleme koşulları belirlenmeye çalışılmıştır.

2.2. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)

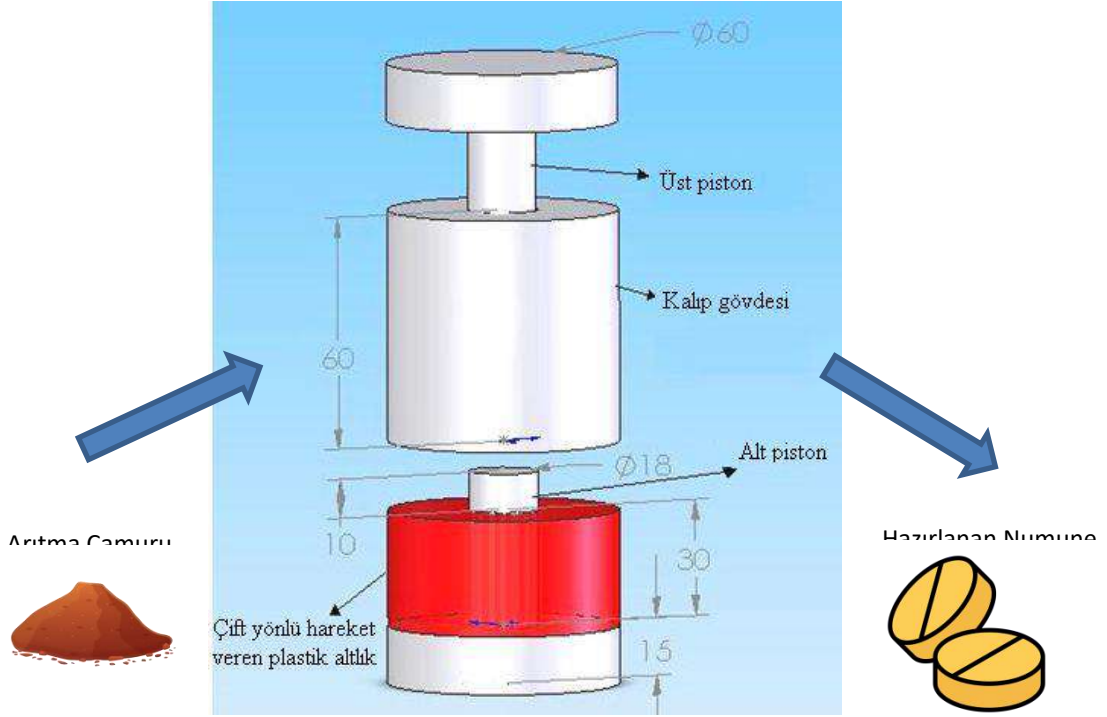
Çinko fosfat kaplama prosesi durulama havuzunda oluşan çamurların mikro yapısal ve bileşimsel karakterizasyonu için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizleri gerçekleştirilmiştir. SEM analizleri ile çamurların yüzey morfolojisi, gözeneklilik, tane boyutu dağılımı ve yüzey pürüzlülüğü gibi mikro yapısal özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen SEM görüntüleri, sinterleme işlemi sırasında meydana gelen mikro yapısal değişimlerin anlaşılması ve ürünün fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesi açısından önemli bilgiler sunmaktadır.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

3.1. Çamur Numunelerin Toz Haline Getirilmesi ve Sinterlenmesi

Çamur numuneler, higroskopik suyun ve sonrasında organik maddelerin uzaklaştırılması ve sinterleme yapılacak hammaddenin termal rafinasyonu için öncelikle 150°C'de 90 dakika süreyle sonrada kül fırınında 400°C'de kalsinasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kalsinasyon sonucu elde edilen numuneler, daha sonra homojen bir yapıya kavuşturulmak üzere ince bir toz haline getirilmiştir. Son olarak, elde edilen toz numuneler, farklı fiziksel ve kimyasal analiz teknikleri ile incelenebilmesi için çelik kalıplarda preslenerek numune hazırlama işlemi tamamlanmıştır. Numune hazırlama adımları Şekil 1'de sunulmuştur.

Düzenleme işlemi



Şekil 1. Numune hazırlama adımları

Hazırlanan numuneler (Şekil 2), ön işlem olarak 400 °C'de 30 dakika süreyle tutularak fiziksel suyun ve organiklerin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Daha sonra, sırasıyla 800, 900 ve 1000 °C sıcaklıklarda 90dk süreyle ısıtılarak sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sinterleme sürecinde, tanecikler arasında atomik difüzyon mekanizmalarıyla kaynaşarak bir araya gelmiş, buda hacimsel küçülmeye uğramıştır. Boyutsal küçülme ve birleşme meydana gelerek daha yoğun ve mikroyapısal olarak daha homojen bir yapıya geçiş olmuştur. Sinterleme öncesi numunenin geometrik yoğunluğu 1,645 g/cm³ olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. 800°C, 900°C ve 1000°C’de 90dk süreyle sinterlenmiş atık çamuru çökeltisi numuneleri

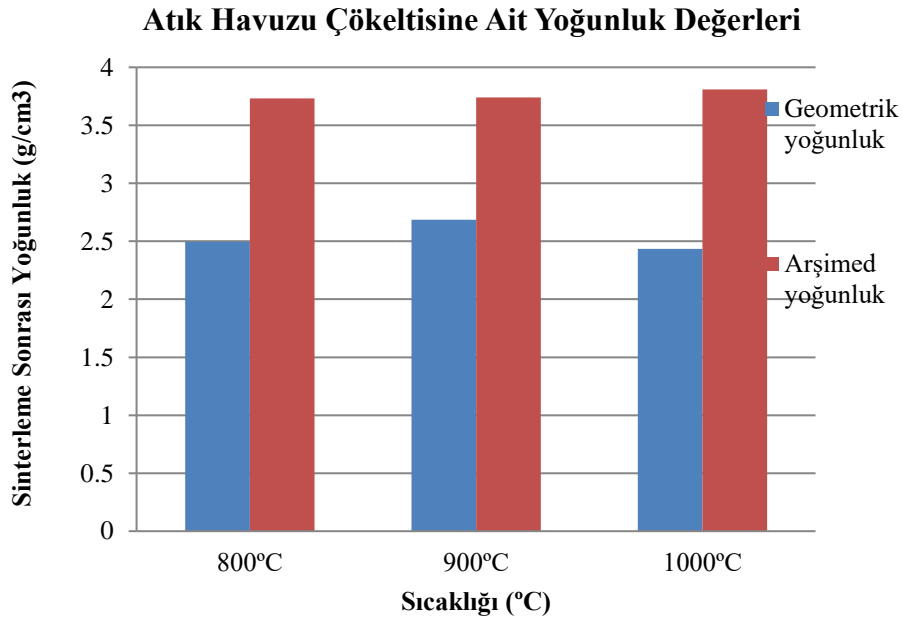
3.2. Numunelerin Yoğunluk Sonuçları

Tablo 1’de sunulan veriler, fosfat çamur numunelerinin farklı sinterleme sıcaklıklarında (800 °C, 900 °C ve 1000 °C) sinterleme öncesi ve sonrası geometrik yoğunlukları ile sinterleme sonrası Arşimet yoğunluklarını karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Sinterleme öncesi ölçülen geometrik yoğunluk değerlerinin birbirine yakın olması, numunelerin başlangıçta homojen bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Sinterleme işlemi sonrasında ise geometrik yoğunluk değerlerinde belirgin artışlar gözlemlenmiştir. Özellikle 1000 °C’de sinterlenen numunede gözlenen anlamlı yoğunluk artışı, sinterleme sürecinde tanecikler arasında boyutsal küçülme ve birleşme ile gözeneklerin kapanması sonucu daha yoğun ve mikroyapısal olarak homojen bir yapıya geçişin gerçekleştiğini göstermektedir.

Tablo 1. Farklı sinterleme sıcaklıklarında atık havuzu çökeltisine ait yoğunluk değerleri

Atık Havuz Çökeltisine Ait Yoğunluk Değerleri		
Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Sonrası Geometrik yoğunluk (g/cm ³)	Sinterleme Sonrası Arşimet yoğunluk (g/cm ³)
800	2,496	3,733
900	2,687	3,739
1000	2,434	3,808

Şekil 3’te sunulan Arşimet yoğunluğu değerleri, numunelerin teorik yoğunluğuna en yakın değeri temsil etmektedir. Tüm numunelerde, sinterleme sonrası elde edilen Arşimet yoğunluk değerlerinin, sinterleme öncesi ölçülen geometrik yoğunluk değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, sinterleme işlemi sırasında tanecikler arasında meydana gelen merkezden merkeze yaklaşmadan kaynaklı boyutsal küçülme ile gözeneklilik oranında azalma ve sonuç olarak daha kompakt bir mikro yapıya geçişin gerçekleştiğini göstermektedir. Geometrik yoğunluk yüzey pürüzlülükleri ve yüzeysel topografyadan önemli şekilde etkilenmektedir. Bu da yoğunluk değerini gerçek yoğunluktan daha düşük değer verebilmektedir. Bu sebepten Arşimet prensibiyle sıvı içerisinde ölçülerek gerçek yoğunluk değerleri tespit edilmiş ve Şekil 3’te verilmiştir.

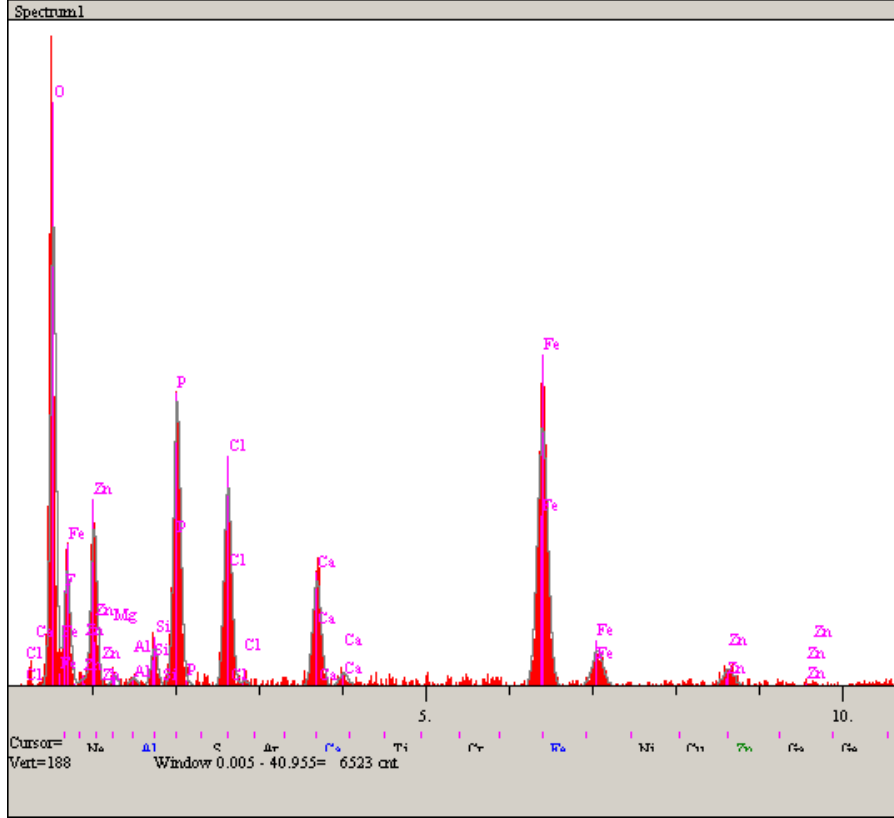


Şekil 3. 800°C, 900°C ve 1000°C sinterlenmiş fosfat çökelti numuneleri yoğunluk değerleri

Sinterleme sıcaklığının artmasıyla genel olarak numunelerin Arşimed yoğunluklarında artış gözlemlenmiştir. Bu durum, numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinde gözlemlenen yoğunlaşma davranışlarındaki farklılıklarından da gözlemlenmiştir.

3.3. Enerji Dispersiv Spektrum (EDS) Analizi

Çamur atığının 150°C’de ısıl işlem gördükten sonra elde edilen tozların EDS kimyasal analizi ile kantitatif olarak elementel analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen EDS grafiği (Şekil 4) ve kantitatif dağılımı Tablo 2’de verilmiştir. Şekil 4’teki elementlerin grafiksel dağılımına ve Tablo 2’deki yüzde dağılım verileri incelendiğinde ana elementler olarak Fe, O, P, Zn ve az miktarda Cl, Ca, F ve empürite elementler olarak Si, Mg ve Al tespit edilmiştir. Fe ve O elementleri çelik filmaşından kopan elementlerdir. Zn ve P ise bir önceki kaplama ünitesinden gelen kaplama elementleridir. Zn-P kaplama havuzunda, kaplama verimliliğinin geliştirilmesi için son zamanlarda Ca’da sisteme eklenmektedir. Tespit edilen az miktardaki Ca’un kaynağının bu olduğu düşünülmektedir. Si, Mg ve Al ise kontaminasyon olarak değerlendirilmiştir.



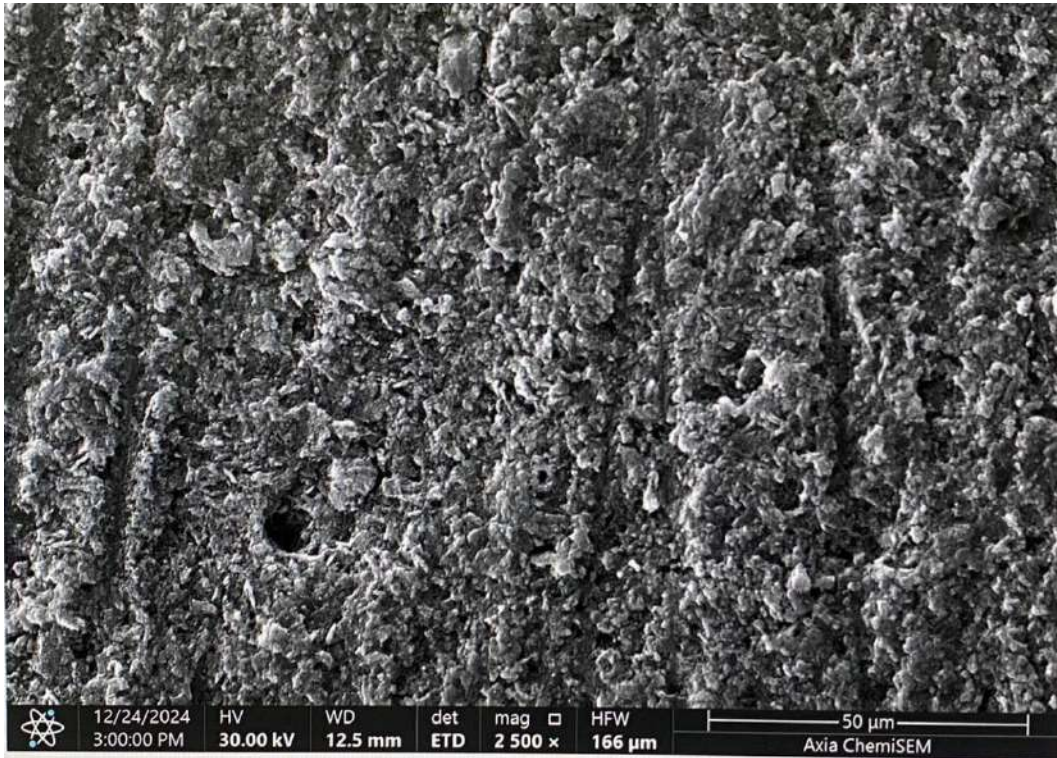
Şekil 4. Arıtma çamur atık tozlarının EDS grafiği

Tablo 2. EDS Elementel analiz sonucu

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	111.47	6.677	27.936	wt.%	
F	Ka	11.80	2.172	3.019	wt.%	
Mg	Ka	2.74	1.046	0.388	wt.%	
Al	Ka	2.48	0.995	0.302	wt.%	
Si	Ka	11.13	2.110	1.190	wt.%	
P	Ka	86.22	5.873	9.317	wt.%	
Cl	Ka	65.14	5.104	7.411	wt.%	
Ca	Ka	38.90	3.944	5.109	wt.%	
Fe	Ka	114.89	6.779	37.410	wt.%	
Zn	Ka	8.18	1.809	7.918	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

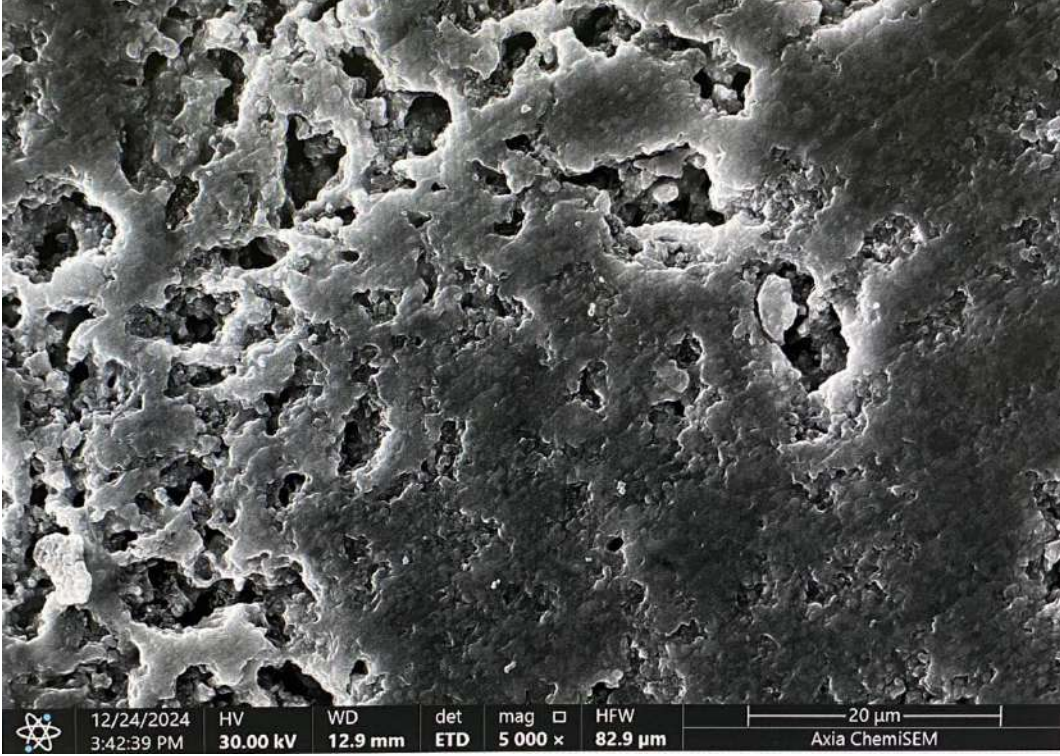
3.4.SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)

Şekil 5'te sunulan taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü, 800 °C'de sinterlenmiş atık havuzu çamurunun mikro yapısını ortaya koymaktadır. SEM mikrografları, sinterlenmiş numunenin düzensiz şekilli ve geniş bir boyut dağılımına sahip taneciklerden oluşan heterojen bir mikro yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Hammaddenin eleme ve öğütme işlemlerine tabi tutulmaması nedeniyle, sinterlenmiş numunede gözlemlenen geniş tanecik boyut dağılımı, ham maddenin heterojen yapısına atfedilebilir. 800 °C'de gerçekleştirilen sinterleme işlemi, tanecikler arasında birleşme ve kısmi yoğunlaşma davranışı sergilemesiyle sonuçlanmıştır. Ancak bu sıcaklık, tam bir yoğunlaşma için yeterli olmadığından, sinterlenmiş numunede belirgin gözeneklilik gözlemlenmiştir.



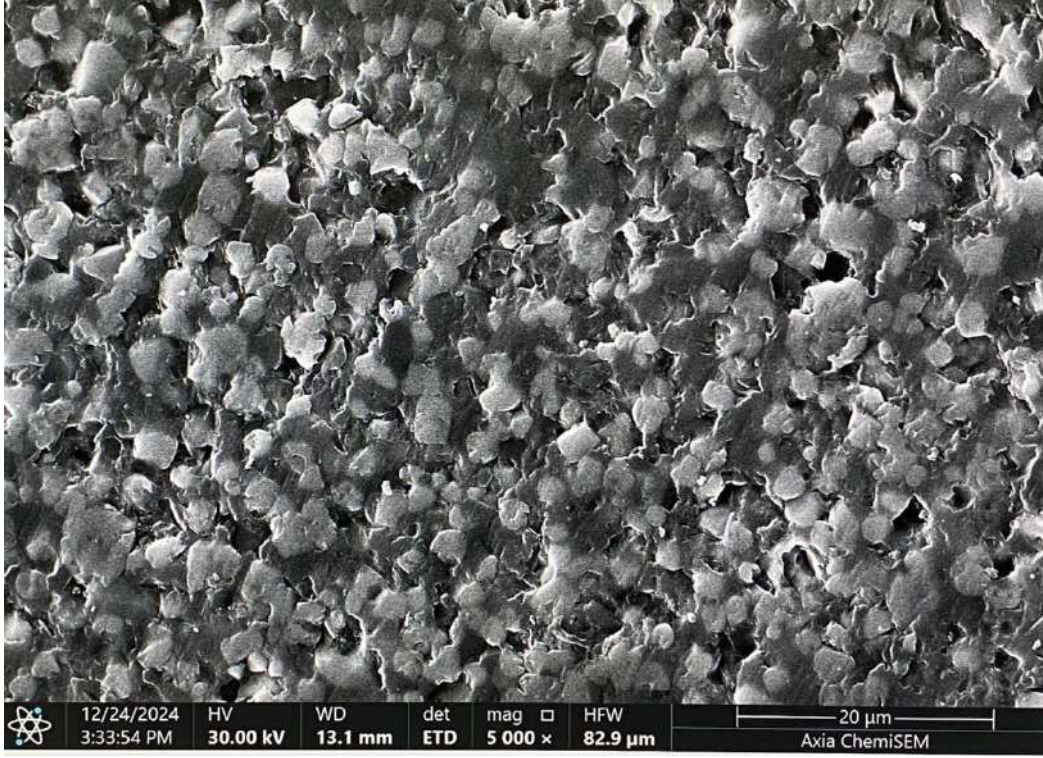
Şekil 5. 800°C'de sinterlenmiş numuneye ait SEM görüntüsü

Şekil 6'da sunulan taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü, 800 °C'de sinterlenmiş numuneye kıyasla 900 °C'de sinterlenmiş numunenin daha yoğun bir mikro yapıya sahip olduğunu göstermektedir. 900 °C'de sinterleme işlemi sonucu, numunedeki gözeneklilik oranında belirgin bir azalma gözlemlenmiş olmasına rağmen, hala küçük miktarlarda gözeneklerin varlığı tespit edilmiştir. Bu sonuç, 900 °C sıcaklığının, tanecikler arasındaki birleşme ve büyüme mekanizmalarını daha etkin hale getirerek daha yoğun bir mikro yapı oluşumunu sağladığını göstermektedir.



Şekil 6. 900°C’de sinterlenmiş numuneye ait SEM görüntüsü

Şekil 7’de sunulan taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü, 1000 °C’de sinterlenmiş çinko fosfat kaplama çamurunun, 800 °C ve 900 °C’de sinterlenmiş numunelere kıyasla oldukça yoğun ve neredeyse gözeneksiz bir mikro yapıya sahip olduğunu göstermektedir. 1000 °C’nin yüksek sıcaklığı, tanecikler arasında atomik difüzyon mekanizmalarını hızlandırarak daha etkin bir yoğunlaşma ve gözeneklerin kapanması sürecini tetiklemiştir.



Şekil 7. 100°C’de sinterlenmiş numuneye ait SEM görüntüsü

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen fiziksel ve mikroyapısal incelemeler sonucunda elde edilen veriler ele alınırsa, 800°C ve 900°C’de yeterli difüzyona bağlı sinterleme etkinliğinin olmadığı, gözenek yapısının hala mikroyapıda belirgin olduğunu görülürken, 1000°C’de yapılan sinterleme sonucunda ise yoğunluk değerinin kayda değer şekilde arttığı görülmüştür. 1000°C’de sinterlenen numunelerde maksimum 5 mikron çapında poroziteler görülmüştür. Ancak küresel formda olması mekanik özelliklere ve özellikle kırılma tokluğuna etkisini düşürmede önemli bir parametredir. Çatlak köşe radüslerinin artması ile kırılma tokluğunu iyileştirici etkisi özellikle kırılma karakterli malzemelerde bilinen bir mekanizmadır.

Hem SEM resimlerinden hem de şekilsel kararlılığın devamı ve hacimsel büzülme oranına göre 1000°C’de yapılan sinterleme sonucunda ise yoğunluğun optimum değer olarak belirlenmiştir. Daha yüksek yoğunluk ve daha yüksek katma değerli ürüne dönüşmesi kısmen artan maliyetle birlikte, tozların öğütülerek submikron seviyelere indirilmesi ve ilave olarak numune hazırlama prosesinde ham numunelerin sinterleme öncesi yoğunluklarını arttırmak için izostatik presleme

işlemi uygulanmasıyla 1000°C’de tam yoğun mikroyapıya ulaşmak teorik olarak mümkün gözükmemektedir.

Sonuç olarak, çevre kirliliği ve kimyasal atık olması sebebiyle önemli bir atık bertaraf problemi ve maliyetine sebep olan ve halihazırda çimento fabrikalarında yakılarak hem ber taraf edilen hem de düşük katma değerli bir ürün olan, fosfat kaplama prosesi durulama havuz atık çamuru, düşük sıcaklıklı bir ısıl işlem sonrasında özellikle inşaat sektörü gibi alanlarda kullanılmak üzere yüksek yoğunluklu bulk malzemeler olarak üretimi başarılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] D.P. Burduhos Nergis, C. Nejneru, D.D. Burduhos Nergis, C. avin, A.V. andu, .. Toma C. Bejinariu, The galvanic corrosion behavior of phosphated carbon steel used at carabiners manufacturing, *evista de Chimie* 70, 215-9 (2019).
- [2] C. Bejinariu, D.P. Burduhos-Nergis, N. Cimpoesu, mmersion Behavior of Carbon teel, Phosphate Carbon teel and Phosphate and Painted Carbon teel in altwater, *Materials* 14, 188 (2021).
- [3] D.P. Burduhos-Nergis, D.D. Burduhos-Nergis, .M. Baltatu, P. Vizureanu, Advanced Coatings for the Corrosion Protection of Metals, *Materials earch Forul* 115 (2022).
- [4] S. Oubaha, Y. Taha, M. Loutou, M.O. Mghazli, M. Benzaazoua, R. Hakkou, Fired brick production using phosphogypsum and phosphate mining waste, *Construct. Build. Mater.* 403 (2023) 133149.
- [5] Wang, Y., Liu, Z., Zhang, J., Mao, R., Zhang, Y., 2020. Advanced converter sludge utilization technologies for the recovery of valuable elements: a review. *J. Hazard. Mater.* 381, 120902 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120902>
- [6] Wu, S., Sun, T., Kou, J., Li, H., Gao, E., 2024. Green and efficient recovery of poly metals from converter sludge through reduction roasting and preparation of backfill from tailings. *Chem. Eng. J.* 479, 147582 <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.147582>
- [7] R. Hakkou, M. Benzaazoua, B. Bussi`ere, Valorization of phosphate waste rocks and sludge from the Moroccan phosphate mines: challenges and perspectives, *Procedia Eng.* 138 (2016) 110–118.

Algae from Farm to Table; Effects of Spirulina that increase the benefits of traditional foods

Betül Güroy

Yalova University, Armutlu Vocational School, Department of Aquaculture, Yalova, Turkey

bguroy@yalova.edu.tr, betulguroy@yahoo.com.tr +90 505 343 68 51

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4298-6256>

Abstract

Spirulina is a microalgae produced in the pH range of 9-11. It is produced in Turkey and sold in markets in powder or tablet form. Spirulina farms will be a sustainable and renewable production model with reduced costs in suitable geothermal water areas in Turkey. It is possible to produce it even in infertile lands in water containing appropriate light and nutrients at 30 degrees Celsius. Spirulina harvesting takes place by filtering-washing-filtering the culture and fresh Spirulina is obtained. Fresh Spirulina can be consumed daily and preserved for a long time by drying or freezing.

Fresh spirulina can be consumed with products such as buttermilk, bread, cake and cookies. Powdered Spirulina is subjected to drying and heat treatment to increase its shelf life. This article examines the differences between using fresh Spirulina or powdered Spirulina in foods.

Key Words: Spirulina, buttermilk, yoghurt, muffin, cookies, tablet

Çiftlikten Sofraya Alg; Spirulina'nın geleneksel gıdaların faydalarını arttıran etkileri

Prof.Dr.Betül Güroy

Yalova Üniversitesi, Armutlu Meslek Yüksekokulu, Yalova, Türkiye

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4298-6256>

bguroy@yalova.edu.tr, betulguroy@yahoo.com.tr +90 505 343 68 51

ÖZET

Spirulina 9-11 pH aralığında üretilen bir mikroalgdır. Türkiye’de üretimi yapılmaktadır ve marketlerde toz ya da tablet formunda satılmaktadır. Spirulina çiftlikleri, Türkiye’de uygun jeotermal su alanlarında maliyeti azaltılarak sürdürülebilir ve yenilenebilir bir üretim modeli olacaktır. 30°C sıcaklıkta uygun ışık ve besin elementleri içeren suda verimsiz arazilerde bile üretimi mümkündür. Spirulina hasadı, kültürün süzülme-yıkama-süzülme işlemleri ile gerçekleşir ve taze Spirulina elde edilir. Taze Spirulina günlük olarak tüketilebilir ve kurutularak ya da dondurularak uzun süre muhafaza edilebilir.

Taze spirulina ayran, ekmekek, kek, kurabiye gibi ürünler ile tüketilebilir. Toz haline getirilen Spirulina raf ömrü daha uzun olması için kurutma işlemi ile ısıl işleme maruz kalmaktadır. Bu makalede gıdalarda “Taze Spirulina” yada “Toz Spirulina” kullanımını arasındaki farklar irdelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Spirulina, ayran, yoğurt, kek, kurabiye, tablet

1. Spirulina'nın Önemi ve Üretimi

İnsan beslenmesinde eski çağlardan beri bilinen ve kullanılan alglerin besin takviyesi olarak kullanımını son yıllarda artış göstermiştir. Spirulina en çok tüketilen mikroalg cinslerinden biridir. Spirulina hap, tablet, kapsül, toz formlarında besin takviyesi olarak kullanılmasının yanı sıra besin değerini arttırmak ve sağlık etkilerinden yararlanmak için gıda ürünlerine de eklenmektedir. Spirulina CO₂ fiksasyonunda verimli endüstriyel üretimi olan bir mikroalgdır. Spirulina yetiştiriciliği, fotosentez sürecinde atmosfere O₂ bırakması nedeniyle çevre dostu, yenilenebilir ve ekosistemle uyumlu sürdürülebilir bir ekonomik faaliyettir. Yetiştiricilik sonunda hasat edilen Spirulina'nın kalitesi ve besin değeri yetiştiricilik koşullarına ve kurutma koşullarına bağlı değişir. %60 civarında protein içeren Spirulina esansiyel amino asitleri tam ve dengeli içerir. Ayrıca DNA koruyucu etkisi ile antioksidan etkiye sahip mavi renkli doğal bir pigment olan fikosiyanın adı verilen biyoaktif bileşenin nadir kaynaklarından biridir. Algler, karasal bitkilere göre inorganik maddeleri kısa bir sürede organik maddeye dönüştürebilir. Spirulina 3 hafta içinde 30°C sıcaklık ve 9-11 pH ortamında yeterli ışık ve Schlösser Spirulina Ortamı ve jeotermal su içeren besin ortamı koşullarında hasat aşamasına ulaşmaktadır (Güroy ve diğ. 2023).



Görsel 1. Jeotermal su ile Spirulina yetiştiriciliği

Mikroalgler yaşadığı çevre koşulları uygun olmadığında, hayatta kalmak ve iç dengesini korumak amacıyla endüstriyel olarak da kullanılabilen farmasötik ve nutrasötik maddeler gibi bazı metabolitlerin üretimini ve hücre içinde miktarını arttırmaları. Spirulina fotosentezde yardımcı pigment olarak görev yapan ve serbest radikallerin zararlı etkilerini ortadan kaldıran antioksidan özellikle C-fikosiyanin içerir. Antioksidan, hidroksil ve hidrojen peroksit radikalleri gibi nükleotidlere kolaylıkla saldırabilen ve DNA'nın yapısına zarar vererek kalıcı hasara yol açabilen serbest radikalleri engeller. Spirulina'nın DNA korunmasına etkisinin çok iyi olduğunu kanıtlayan bilimsel sonuçlar bulunmaktadır (Güroy ve diğ. 2022).

Siyanobakteriden elde edilen ve doğal mavi renkli bir pigment olan fikosiyanin (C-PC), floresan özelliğinden dolayı akış sitometrisi, bağışıklık ve doku kimyası çalışmalarında floresan prob olarak kullanılmakta, ayrıca antioksidan ve radikal uzaklaştırıcı etkisinden dolayı da besleyici ve tedavi edici olarak kullanılmaktadır.



Görsel 2. Spirulina hasadı, Spirulina tozu ve fikosiyanin

Fikosiyanin, yetiştiriciliği yapılan Spirulina biyokütlesinden ekstrakte edilerek ürüne dönüştürülmektedir. Fikosiyanin maliyeti ise, ekstraksiyon verimine [mg (fikosiyanin) /g (Spirulina)] ve fikosiyanin saflık oranına bağlı (A_{620} / A_{280}) değişmektedir. Fikosiyanin saflık oranı 0.7'den yüksek olduğunda "gıda sınıfı fikosiyanin" olarak kabul edilmektedir ve maliyeti 130 ABD \$ g⁻¹ civarındadır (Thevarajah ve diğ. 2024). Fikosiyanin saflık oranı 4.0'dan yüksek olduğunda "analitik derece fikosiyanin" olarak kabul edilir ve maliyeti 15 US \$ mg⁻¹ kadar olabilmektedir (Chaiklahana ve diğ. 2011).

Farklı kurutma yöntemleri Spirulina'dan elde edilen fikosiyanin verimini etkilemektedir. Güroy ve diğ. (2017) tarafından, dondurarak kurutulan (-60 C°) Spirulina'daki fikosiyanin miktarı %27,3 olarak belirlenirken fırın kurutma (+40°) yöntemi sonrasında diğer gruba kıyasla %35,4 oranında fikosiyanin kaybı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca dondurarak kurutma tekniğinde fikosiyanin saflık oranı (A_{620}/A_{280}) 1,26 ve fırın kurutma tekniğinde ise 1,16 olarak bulunduğu bildirilmektedir.

Mavi-yeşil bir alg olan Spirulina, 16 yy.'da şimdiki Mexico City'deki Tenochtitlan'da keşfedilmiştir. Spirulina, dengeli protein ve fikosiyanin içeriği nedeniyle 1967 yılında Uluslararası Uygulamalı Mikrobiyoloji Derneği tarafından "Geleceğin Besini" olarak kabul edilmiştir. Spirulina, Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından Genel

Olarak Güvenli Tanınan (GRAS) GRN No. 127 olarak sertifikalandırılmıştır (Boyle ve Verghese, 2024). Spirulina, kimyasal bileşimi nedeniyle gelecekteki ürün geliştirme için "Geleceğin Besini" olma potansiyeline sahiptir.

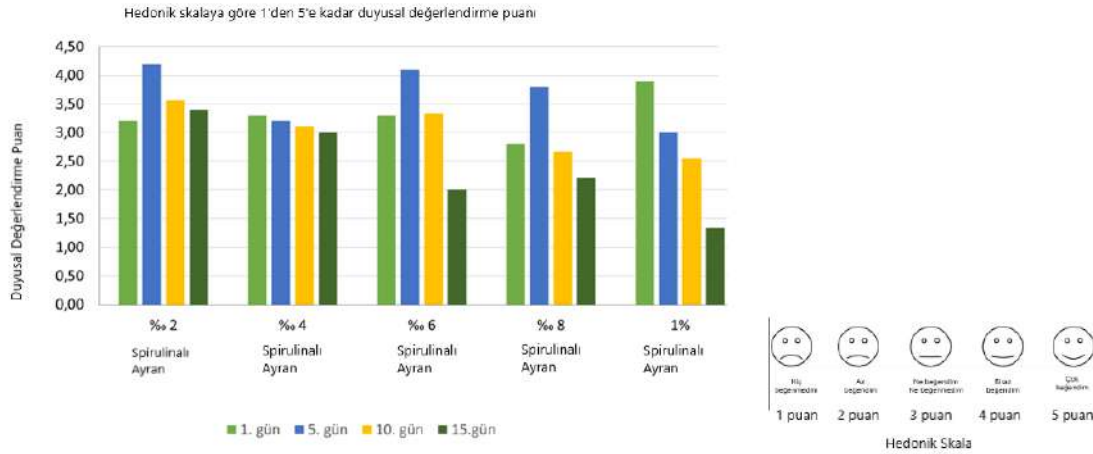
2. Spirulina ile Gıda Uygulamaları

2.1. Spirulina Ayrarı

%60 civarında protein içeren *Spirulina* ile zenginleştirilerek formüle edilen ayran, antioksidan özellikleri ile daha değerli hale gelmektedir (Rose ve diğ. 2023). Spirulina'nın prebiyotik özellikleri ayranın daha hızlı fermente olmasını teşvik edebilmekte ve duyuşsal kabul edilebilirliği koruyan bir lezzet sunabilmektedir.

Fermente süt ürünleri arasında ayran, eski çağlardan beri Türk geleneksel yemek kültürünün ayrılmaz bir parçası olmuştur (Ergüllü ve Demiryol, 1983). Fermente süt ürünleri, laktik asit bakterileri (LAB) tarafından üretilen biyoaktif metabolitlerin sağladığı gelişmiş biyoyararlanıma, raf ömrüne ve güvenliğe sahiptir. Ayran, fosfolipit içeriğinin yüksek olması, protein içermesi ve kalsiyum, fosfor, B₂ vitamini, B₁₂ vitamini, pantotenik asit-B₅ vitamini, potasyum, çinko, iyot ve molibdenin mükemmel bir kaynağı olması nedeniyle besleyici ve sağlığı geliştiren bir gıda içeceğidir. Yüksek besinsel faydalarına rağmen, kültürlü ayran doğal olarak C vitamini, demir ve diyet lifi açısından eksiktir (Cai ve diğ. 2021). Spirulina, süt ürünlerini güçlendirmek için kullanılabilir doğal bir kaynaktır.

Güroy ve diğ. (2016) tarafından ayrana %2, %4, %6, %8 ve %1 oranlarında Taze Spirulina eklendiğinde toplam bakteri üremesi artmıştır.



Görsel 3. Farklı oranda Taze Spirulina içeren ayranların panelistler tarafından duyuşsal analizi

Spirulina tüketimini yaygınlaştırmayı ve ayranı daha fonksiyonel bir gıda haline getirmeyi amaçlayan çalışmada, %2 Taze Spirulina katkı ayran grubunun koku, kıvam, renk ve tat açısından diğer gruplara göre daha başarılı olduğu bulunmuştur.



Görsel 4. Taze Spirulina, Toz Spirulina ve Spirulina ayran

Ayran tüketimi sonucunda, sindirim iyileştirilebilir, bağışıklık artırılabilir ve kandaki kolesterol seviyeleri düşürülebilir. Fermente süt ürünleri, fermente süt ürünlerinin ekonomik değerini artıran istenen ve öngörülebilir duyuşal, reolojik, besinsel ve işlevsel değışikliklere sahiptir (Rose et al. 2023).

2.2. Spirulina Yoğurt

Yoğurt, Dünya’da yaygın tüketilen fermente süt ürünleri arasındadır. Yüksek tüketim oranı nedeniyle, Spirulina ile yoğurt zenginleştirilmesi besin eksiklikleriyle ilişkili hastalıkları etkili bir şekilde azaltma potansiyeline sahiptir. 2013 yılında Danone Araştırma Enstitüsü’nün yayınladığı rapora göre yıl içerisinde kişi başına yoğurt tüketiminde birinci ülke 285,6 kap (1 kap = 125 g) ile Hollanda’dır. Hollanda’yı 281,5 kap ile Türkiye, 280 kap ile Fransa takip eder (Kızılaslan ve Solak, 2016).

Yoğurt ilk kez göçebe Türk kavimleri tarafından mayalandırılmış ve süt sağımı geliştirilmesi ile yoğurt yapımı keşfedilmiştir. Yoğurt, hayvan derilerinde saklanan sütün doğal olarak ekşimesi ve pıhtılaşması sonucu oluşan pıhtıdan zamanla geliştirilmiştir olup düzgün şekilde oluşan ekşi pıhtı yoğurt olarak adlandırılmıştır. Yoğurt Türkler tarafından önce Orta Doğu ve Anadolu’ya ve 16. yy.’da Avrupa’ya tanıtılmıştır (Şireli ve Onaran 2012). Yoğurt fermente edilmeden önce starter kültür ilavesi sonrası yoğurt hacminin %3 ve %6 “Spirulina unu” veya “Taze Spirulina” eklenerek hazırlanan yoğurtlarda, Taze Spirulina içeren yoğurtların lezzetinin kontrol grubuna göre farklılık göstermediği, Spirulina içeren yoğurt gruplarındaki asitlik artışının kontrol grubuna göre ise daha az olduğu tespit edilmiştir (Güroy ve diğ. 2016).



Görsel 5. Spirulina Yoğurt

Barkallah ve diğ. (2017) tarafında ise yoğurda %2,5 Spirulina eklenmesi ile fermantasyonun hızlandığı, yoğurdun dokusal özelliklerinin ve duyuşal kabul edilebilirliğin korunduğu bildirilmektedir. *Spirulina* içeren yoğurdun protein, yağ ve diyet lifi içeriği kontrol grubundan daha yüksek bulunmuş olup 28 günlük depolama sırasında *Spirulina* içeren yoğurdun daha iyi su tutma kapasitesi ve yoğurt pıhtısının su tutma kapasitesini artırarak daha düşük sinerezisi gösterdiği tespit edilmiştir.

Spirulina besin değeri yüksek yoğurt geliştirmek için doğal bir bileşen olarak kullanılması önerilmektedir.

2.3. Spirulina Muffin

"Muffin" terimi ilk kez 1851'de "London Laboure" adlı İngiliz dergisinde ortaya çıkmış olup un, şeker, yağ ve aromalar içeren tahıllardan yapılan pişmiş gıda maddeleridir (Shukla ve diğ. 2024). Muffinler çeşitli boyutlarda, şekillerde ve tatlarda olduğundan, her yaş grubundan insana kahvaltı veya atıştırmalık olarak servis edilebilir. Isıl işlem koşulları Spirulina üzerinde etkili olduğu için 140 ila 220 °C arasında değişen fırın sıcaklıklarında üretilen muffinlere ilave edildiğinde fonksiyonel ürün olarak besinsel değeri etkilenmektedir.

Fonksiyonel gıdalar, polifenoller, flavonoidler ve fenolik asitler gibi biyoaktif bileşikler yoluyla uygun büyüme ve gelişmeyi teşvik etme, hastalıklara karşı koruma sağlama gibi potansiyel faydaları nedeniyle gıda endüstrisinde büyük önem kazanmaktadır. Biyoaktif bileşikler antioksidan, antihipertansif ve anti-kanser etkileri gibi biyolojik özellikler bakımından zengin olduğu için gıda olarak tüketilmesi, kardiyovasküler hastalıklar, tip 2 diyabet, kanser ve obezite gibi kronik hastalıklara karşı korunmada sağlık yararları sunmaktadır. Bu nedenle, bu fonksiyonel gıdaların özellikle çocuklar için günlük diyetlere entegre edilmesi, obezite riskini önemli ölçüde azaltırken, genel sağlığı geliştirebilir ve besin eksikliklerini kapatabilir (Konstantinidi ve Koutelidakis, 2019).

Taze Spirulina (*Arthrospira platensis*) veya Spirulina unu (kurutulmuş Spirulina) içeren muffinlerin protein ve fikosiyanın içeriği ile duyuşal özellikleri değerlendirilmek üzere Spirulina'nın taze veya kurutulmuş formları 3 farklı seviyede (%4, %6 ve %8) muffin karışımlarına eklenmiştir. Kontrol grubuna Spirulina katılmamıştır. Gruplar görünüm, doku, tat, koku, renk ve genel kabul edilebilirlik açısından duyuşal analizlerle değerlendirilmiş olup muffinlerin protein ve fikosiyanın içeriği analiz edilmiştir. %6 ve %8 taze Spirulina içeren gruplarda, diğer gruplardan daha yüksek fikosiyanın içeriği tespit edilmiştir ($p > 0,05$). %8 taze Spirulina içeren grubun fikosiyanın saflığı gıda derecesi (A_{620}/A_{280}) olarak ölçülmüştür. %8 kurutulmuş Spirulina içeren grup, koku ve renk açısından en düşük puan alan grup olarak bulunmuştur (Güroy, 2020).



Görsel 5. Spirulina muffin ve Spirulina'nın Freeze Drier ile Kurutulması

Boyle ve Verghese (2024) tarafından geliştirilen %2 Spirulina ve %8 yaban mersini içeren muffinlerin, pH, renk ve su aktivitesi stabilitesini 9 günlük raf ömrü boyunca koruduğu ve %1 Spirulina ve %4 yaban mersini içeren deneme grubundan daha yüksek antioksidan aktivite sergilediği bildirilmektedir.

2.4. Spirulina Kurabiye

Biyoaktif bileşen içeren doğal ürünler ile zenginleştirilmiş gıdalar, sağlıklı ürünlerin önceden hazırlık gerektirmeden, pratik bir şekilde tüketilmesini kolaylaştıracak bir alternatiftir.

Spirulina ile zenginleştirilip karıştırılabilen ürünler arasında öne çıkan bir seçenek ise kolay taşınabilen ve raf ömrünün uzun olan, pratikliği nedeniyle popüler bir gıda olan kurabiyedir. (Mishra ve diğ. 2014).

Taze Spirulina veya Spirulina tozu içeren kurabiyelerin kalitesi değerlendirilmek üzere fikosiyanın içeriği incelenmiştir. Taze Spirulina biyokütlesi veya Spirulina tozu, kurabiyelere %7 ve %14 olmak üzere 2 farklı seviyede eklenmiştir. Spirulina içermeyen kurabiye ise kontrol grubu olarak hazırlanmıştır. Spirulina, Yalova Üniversitesi Armutlu Meslek Yüksekokulu Alg Kültür Birimi'nde üretilmiştir. 45 mikron'luk plankton bezi ile hasat edilen *Arthrospira platensis* şebeke suyu ile yıkandıktan sonra süzölmüş ve elde edilen ürün "Taze Spirulina" olarak adlandırılmıştır. Taze Spirulina -60 °C'de freze-drier cihazı ile dondurularak kurutulmuş ve "Spirulina unu" elde edilmiştir. Kontrol kurabiye; buğday unu, mısır nişastası, yumurta, şeker, kabartma tozu, vanilin ve tereyağ ihtiva etmiştir. Deneme kurabiyelerine ise; hamur ağırlığının %7'si ve %14'ü oranında taze Spirulina veya Spirulina tozu ilave edilmiştir.

Tüm örneklerde fikosiyanın içeriği, Bossiba ve Richmond, (1979)'a göre modifiye edilerek yapılmıştır.

Fikosiyanın (%) = $[A (620) \times 10 \times 100] / [3,39 \times \text{sample (mg)} \times (\% \text{ kuru madde})]$

Fikosiyanın Saflık Oranı = $(A620) / (A280)$ (Antelo ve diğ. 2010)

Fikosiyanın konsantrasyonu (mg/mL) = $[A (615) - 0.474 * A (652)] / 5.34$ (Bennett ve Bogorad 1973).

Fikosiyanın verimi (mg/g) = $[C - PC (mg/mL) * \text{çözücü hacmi (mL)}] / [\text{kuru biyokütle (g)}]$ (Silveira ve diğ. 2007) eşitlikleri ile hesaplanmıştır.

Kontrol grubunda fikosiyanın tespit edilememiştir. Spirulina içeren gruplar arasında en düşük fikosiyanın içeriği %0,54 ve en yüksek %1,23 olarak tespit edilmiştir. Spirulina unu içeren gruplarda daha yüksek fikosiyanın saflığı tespit edilmiştir. %7 Spirulina unu içeren kurabiyeler 22,22 mg/g fikosiyanın verimliliği ile daha başarılı bulunmuştur.

%14 taze Spirulina içeren kurabiyeler fikosiyanın verimi, içeriği ve konsantrasyonu bakımından, Spirulina unu içeren kurabiyeler ile benzerlik göstermiştir. Spirulina unu 4.1 saflık oranına sahip olduğu tespit edilmiş olup, kurabiyelerde 0.21 ve 0.26 saflık oranı elde edilmiştir. Taze Spirulin'da ise 0.12 ve 0.18 fikosiyanın saflık oranı belirlenmiştir. Spirulina unu veya taze Spirulina aynı oranlarda kurabiyelere katıldığı için renk üzerine etkili pigment miktarının fazla olduğu Spirulina unu gruplarında ile daha yoğun bir yeşil renk ve fikosiyanın kalitesine ulaşılmıştır (Güroy, 2017).



Görsel 6. Spirulina Kurabiye

Donato ve diğ. (2019) tarafından, %15 oranında Spirulina içeren kurabiyeler, protein ve mineral yüzdeleri açısından %5 ve %10 Spirulina içeren gruplardan daha olduğu ancak %5 oranında Spirulina ile karıştırılan kurabiyeler ve standart kontrol grubu kurabiyeler ile aynı puanla tercih edildiği ve mikrobiyolojik olarak güvenli olduğu belirlenmiştir.

2.5. Spirulina Tableti

Alkali tatlı ve ılık göllerde doğal olarak üreyebilen Spirulina Orta çağ'dan beri bilinmekte olup, 1960'lardan sonra astronot gıdası olarak kullanılmış olup, 1980'lerde yaşlılar ve çocuklar tarafından tüketilmesi gereken bir besin olduğu vurgulanmıştır. 2000'li yıllarda bilinçli insanlar tarafından tüketilen bir alg olan Spirulina Dünya'da toz ve tablet formunda tüketiciye ulaşmaktadır.

Yalova Üniversitesi Alg Üretim Birimi'nde polikarbon serada 3500 L hacimde kültürü yapılan Spirulina platensis sprey kurutucuda kurutularak toz formuna getirilmiştir. Toz haline getirilen Spirulina tablet basma makinesi ile manuel olarak tablet formuna getirilmiştir. Toz ve tablet formları morfolojik değerlendirmeler için FEI Inspect S 50 Model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile analize tabii tutulmuştur. SEM analizlerinde örnekler, altın kaplama ardından iletken karbon bant üzerine yerleştirilerek incelenmiştir. Spirulina platensis'in uygun üretim koşullarında üretilmiş olduğu, herhangi bir katkı yapılmaksızın tablet formuna getirildiği ve doğal Spirulina morfolojisine sahip olduğu taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi ile ortaya konmaktadır (Güroy ve diğ. 2018).



Görsel 7. Spirulina Hasadı, Sprey Kurtuma ile Spirulina, Spirulina Tableti ve SEM ile Analizi Spirulina, besin elementleri ilave edilen, ışık yoğunluğu, sıcaklık ve pH koşulları uygun olan kapalı fotobiyoreaktörlerde ve açık havuz sistemlerinde üretilmektedir ve Spirulina hasatı gerçekleştikten sonra çeşitli ısıl işlem ve öğütme teknikleri ile toz boyutu 200-800 nm arasında

ince toz haline getirilmektedir. Spirulina tozu, tablet şeklinde preslenerek kolay tüketilebilir ve daha uzun raf ömrü gibi avantajları ile pazarlanmaktadır. Spirulina takviyesi alan obez bireylerde vücut yağ yüzdesinde ve bel çevresinde anlamlı azalmalar görülmüştür (Moradi ve diğ. 2019).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Kurutulmuş Spirulina, kurutma işlemi sırasında sıklıkla belirgin bir yosun tadı kazanır, bu da potansiyel olarak tüketim zorlukları yaratarak yiyecek ve içeceklerin tatlarını değiştirebilir (Becker, 2007).

Besleyici protein içeriği yüksek olmasına rağmen kurutulmuş mikro algler henüz yiyecek veya yiyecek ikamesi olarak önemli bir önem kazanmamıştır. Taze Spirulina ve Toz Spirulina kıyaslandığında besin ve kalite açısından eşleşemeyebilir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yıllık küresel gıda üretiminin yaklaşık üçte biri israf edilmekte ve küresel gıda israfının toplam maliyeti yılda 2,5 trilyon dolara ulaşmıştır (Bangar ve diğ. 2024). Tarımsal üretim aşamasından son tüketim noktasına kadar gıda, tedarik zinciri boyunca israf edilirken her aşamada karbon emisyonu içeren faaliyetlerde çevreyi kirletmektedir. Gıda kayıplarını ve israfını hafifletmek için “Sorumlu Tüketim ve Üretim” modeli gereklidir. Üretiminden tüketime ulaşana kadar sürdürülebilir uygulamalar ile üretilen gıda ürünleri arasında Spirulina önemli bir mikroalgdir.

Gıda işleme endüstrisi, önemli su kullanımı nedeniyle büyük tatlı su ayak izleri ile birlikte azot (N), fosfor ve diğer organik bileşikler de dahil olmak üzere besin açısından zengin önemli miktarda atık su üretmektedir. Gıda tedarik zinciri sistemi tarafından 13,7 milyar metrik ton karbondioksit eşdeğeri (CO₂ -eq) üretilir ve bu miktar küresel antropojenik sera gazı (GHG) emisyonlarının %26'sına denk gelir (Thevarajah ve diğ. 2024).

Mikroalg yetiştiriciliği, birçok endüstride, karbon yakalama ve kaynak geri kazanımı için potansiyeli geniş bir uygulama alanıdır. Gıda işleme endüstrisi tarafından üretilen atık akışları diğer sektörlere nazaran daha az toksik maddelerden oluşacağı için atık bazlı üretilen mikroalg biyokütlesinin insan tüketimi için uygulanmasını kolaylaştıracaktır (Nishshanka ve diğ. 2021). Spirulina biyokütlesi ticari pazarda esas olarak kuru toz, kapsül ve tablet formunda ve erişte, makarna, kurabiye ve smoothie gibi biyokütle katılmış gıda ürünleri olarak mevcuttur. Spirulina'daki protein içeriği % 60-70'tir (ağırlık/ağırlık) ve bu oran yumurta (%12,6 protein), et (%43 protein), tam yağlı süt tozu (%26 protein), soya (%37 protein) ve maya (%39 protein) gibi geleneksel protein kaynaklarından daha yüksektir (Thevarajah ve diğ. 2022). Ek olarak, Spirulina'nın toplam proteininin %47'si treonin, valin, metiyonin, lösin, izolösin, fenilalanin, lizin, histidin ve triptofan dahil olmak üzere temel amino asitleri içerir ve bu da onu umut verici bir vegan diyet protein takviyesi yapar.

Spirulina, Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından onaylanmış doğal bir mavi gıda renklendiricisi (yani, gıda katkı maddesi E18) olarak ticari olarak kullanılan mavi bir pigment proteini olan C-fikosiyanini (C-PC) sentezler. C-PC, antioksidan, nöroprotektif, antiinflamatuvar ve hepatoprotektif aktiviteler dahil olmak üzere çok sayıda terapötik özellik sergileyerek, farmasötik ve nutrasötik endüstrilerindeki uygulamasını genişletmektedir (Thevarajah ve diğ.

2023). Spirulina'da karbonhidratlar, esansiyel yağ asitleri, polifenoller, karotenoidler (esas olarak β -karoten), vitaminler (B₁ ve B₃ dahil) ve mineraller bulunmaktadır. Spirulina, tüm biyokütle ve özütlerin yüksek pazar taleplerinden kaynaklanan finansal faydalarla birlikte, gıda güvenliği ve açlık ve yetersiz beslenmeyi hafifletmek için umut verici ve sürdürülebilir bir küresel çözümdür.

Spirulina'nın mikсотrofik yetiştirilmesi, yetiştirme maliyetlerini en aza indirmek ve uygun piyasa fiyatlarında biyokütle üretmek için yetiştiricinin ekonomik uygulanabilirliğini artırmak için son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Spirulina yetiştiriciliği sırasında fotosentez için ışık varlığında organik ve inorganik karbonların eş zamanlı asimilasyonu, atık akışlarının entegrasyonu yoluyla da gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, gıda işleme endüstriyel atıklarının, yani atık su, katı atık ve baca gazının Spirulina yetiştiriciliğine entegrasyonu, gıda atıklarının sürdürülebilir şekilde yeni gıda bileşenlerine dönüştürülmesi için gelecek vaat eden ve yenilikçi bir çözüm olacaktır. Ayrıca, besin açısından zengin Spirulina biyokütlesi ve protein ve C-PC özleri de dahil olmak üzere yeni gıda bileşenlerinin üretimi için gıda işleme endüstriyel atıklarında yada jeotermal su ile Spirulina yetiştiriciliği, etkili gıda atığı yönetimi (FWM) ve gıda güvenliği için umut verici, sürdürülebilir ve yenilikçi bir eylem planıdır. Gıda işleme endüstriyel atıklarının Spirulina yetiştiriciliğinde kullanılması, etkili kaynak geri kazanımı yoluyla kişi başına karbon, tatlı su ve malzeme ayak izlerinin azaltılmasına yardımcı olur. Türkiye'nin gıda işleme endüstriyel atıklarının ya da jeotermal su kaynaklarının besin ortamı olarak kullanılarak besin değeri açısından zengin Spirulina biyokütlesine dönüştürülmesi, döngüsel bir biyoekonomiyi korurken "Sorumlu Tüketim ve Üretim" başarılmasını kolaylaştıracaktır.

KAYNAKÇA

1. Antelo, F.S., Anschau, A., Costa, J.A.V. & Kalil, S.J. (2010). Extraction and purification of C-phycocyanin from *Spirulina platensis* in conventional and integrated aqueous two-phase systems. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 21(5):921-926. doi:10.1590/S0103-50532010000500022
2. Barkallah, M., Dammak, M., Louati, I., Hentati, F., Hadrich, B., Mechichi, T., Ayadi, M.A., Fendri, I., Attia, H., Abdelkafi, S. (2017). Effect of *Spirulina platensis* fortification on physicochemical, textural, antioxidant and sensory properties of yogurt during fermentation and storage, *LWT*, Volume 84, 2017, Pages 323-330, ISSN 0023-6438, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.071>
3. (2024) Development of a Functional Food Snack Product Utilizing Underexplored and Underutilized Ingredients: *Spirulina* Microalgae and Bilberry. *Food and Nutrition Sciences*, 15, 974-990. <https://doi.org/10.4236/fns.2024.1510062>
4. Bennett, A., & Bogorad, L. (1973). Complimentary Chromatic Adaptation in a Filamentous Blue Green Alga, *The Journal of Cell Biology*, 58 No:2 419
5. Becker, E.W. (2007) Micro-algae as a source of protein, *Biotechnology Advances*, Volume 25, Issue 2, 2007, Pages 207-210, ISSN 0734-9750, <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>.
6. Cai, J., Lovatelli, A., Aguilar-Manjarrez, J., Cornish, L., Dabbadie, L., Desrochers, A., Diffey, S., Garrido Gamarro, E., Geehan, J., Hurtado, A., (2021). Seaweeds and Microalgae: An Overview for Unlocking Their Potential in Global Aquaculture Development; *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*: Rome, Italy, 2021; p. 1229.

7. Chaiklahan, R., Chirasuwan, N., Loha, V., Bunnag, B. (2008). Lipid and fatty acids extraction from the cyanobacterium *Spirulina*. *Science Asia* 34 299-305.
8. Donato, R.N., Alexandre, Q, J., Figueirêdo, R.M.F., Feitosa, R, M. (2019). Production of Cookies Enriched With *Spirulina platensis* Biomass. *Journal of Agricultural Studies*. Vol: 7 DO - 10.5296/jas.v7i4.15483
9. Ergüllü, E ve Demiryol, İ, (1983). Yoğurda Değişik Oranlarda Su Katılarak Yapılan Ayranların Bazı Özellikleri Üzerine Araştırma. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ürünleri Teknolojisi Bölümü. Gıda, Yıl:8, Sayı:5 Eylül-Ekim,1983. İzmir.
10. Güroy, B., *Spirulina (Arthrospira platensis) Unu veya Taze Spirulina Biyokitle İçeren Kurabiyelerin C-Fikosiyanin İçeriğinin Belirlenmesi*, 19. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, 12-15 Eylül, Sinop, 2017.
11. Güroy, B., İlhan, M., Çiçek, H, *Scanning Electron Microscopy (SEM) Analysis of Spirulina (Arthrospira) platensis tablet and powder*, 13th International Symposium on Fisheries and Aquatic Sciences, 21-23 November 2018, Ankara, Turkey
12. Güroy, B. Ve Keskin, A.G, *Yoğurda İlave Edilen Spirulina Unu veya Biyoması nın Duyusal ve Bakteriyolojik Analizler Üzerine Etkisi*. Oral session presentation at the meeting of the Alg Technology Symposium, 2016, May, Izmir-Turkey.
13. Güroy, B., Güroy, D., Keskin A.G, *Effects on microbiological and sensory parameters of buttermilk as fermented milk product of Spirulina platensis biomass*. International Congress on Food of Animal Origin, 2016, November, Kyrenia-Cyprus
14. Güroy, B., Karadal, O., Mantoğlu, S. & Cebeci I.O. (2017). Effects of different drying methods on C-phycoyanin content of *Spirulina platensis* powder. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 34(2): 129-132. doi:10.12714/egejfas.2017.34.2.02
15. Güroy, D., Oğuzkan, S.B., Güroy, D., (2022). Utilization of geothermal water (Sanlıurfa-Karaali) medium to enhance DNA protection and phycoyanin in *Spirulina platensis* production. *Aquaculture Studies*, 22(3), AQUAST762. <http://doi.org/10.4194/AQUAST762>
16. Güroy, B. (2020). Taze *Spirulina* veya *Spirulina* Tozu İçeren Muffinlerin Fikosiyanin, Protein İçeriği ve Duyusal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Gıda ve Yem Bilimi - Teknolojisi Dergisi / Journal of Food and Feed Science - Technology* 23: 10-18 (2020/1)
17. Kızılaslan, N. ve Solak, İ. (2016). Yoğurt ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, Sayı: 12, Sayfa: 52-59, ISSN: 2146-8168.
18. Konstantinidi, M. and Koutelidakis, A.E. (2019) Functional Foods and Bioactive Compounds: A Review of Its Possible Role on Weight Management and Obesity's Metabolic Consequences. *Medicines*, 6, Article No. 94. <https://doi.org/10.3390/medicines6030094>
19. Moradi, S., Ziaei, R., Foshati, S., Mohammadi, H., Nachvak, S.M., Rouhani, M.H. (2019). Effects of *Spirulina* supplementation on obesity: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Complementary therapies in medicine*, 47, 102211.
20. Nishshanka, G.K.S.H., Liyanaarachchi, V.C., Premaratne, M., Nimarshana, P.H.V., Ariyadasa, T.U., Kornaros, M. (2021). Wastewater-based microalgal biorefineries for the production of astaxanthin and co-products: Current status, challenges and future perspectives, *Bioresource Technology*, Volume 342, 126018, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126018>
21. Bangar, S.P., Chaudhary, V., Kajla, P., Balakrishnan, G., Phimolsiripol, Y. (2024). Strategies for upcycling food waste in the food production and supply chain, *Trends in Food Science & Technology*, Volume 143, 104314, ISSN 0924-2244, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104314>.

22. Rose, H., Bakshi, S., Kanetkar, P., Lukose, SJ, Felix, J., Yadav, SP, Gupta, PK, & Paswan, VK (2023). *Spirulina plantensis* ile Güçlendirilmiş Kültürlü Ayranın Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu ve Fiziko-Kimyasal ve İşlevsel Özellikleri. *Süt Ürünleri* , 4 (2), 271-284. <https://doi.org/10.3390/dairy4020019>
23. Silveira, S. T., Burkert, J. F. M., Costa, J. A. V., Burkert, C. A. V., & Kalil, S. J. (2007). Optimization of Phycocyanin Extraction from *Spirulina platensis* Using Factorial Design. *Bioresource Technology*, 98, 1629-1634.
24. Shukla, D., Tewari, B.N., Trivedi, S.P., Dwivedi, S., Kumar, V., Tiwari, V., (2024). Quality and functional attributes of muffins with incorporation of fruit, vegetable, and grain substitutes: A review. *Journal of Applied and Natural Science*, 16(1), 344 -355. <https://doi.org/10.31018/jans.v16i1.5330>
25. Mishra, P., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2014). *Spirulina* and its nutritional importance: a possible approach for development of functional food. *Biochemistry & Pharmacology*, 3, 1-2. <https://doi.org/10.4172/2167-0501.1000e171>
26. Şireli U, Onaran B. (2012). Yoğurt ve Yoğurdun İnsan Sağlığı Açısından Yararları, Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Ankara
27. Thevarajah, B., Nimarshana, P.H.V. Galbadage Don Shehan Sandeepa, Ramaraj Boopathy, Thilini U, Ariyadasa. (2024). Upcycling food processing industrial wastes in *Spirulina* cultivation: A perspective on the advancement of Sustainable Development Goal 12, *Trends in Food Science & Technology*, Volume 149, 2024, 104537,ISSN 0924-2244, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104537>.
28. Thevarajah, B., Nishshanka, G.K.SH., Premaratne, M., Nimarshana, P.H.V., Nagarajan, D., Chang, J., Ariyadasa, T.U. (2022). Large-scale production of *Spirulina*-based proteins and c-phycocyanin: A biorefinery approach, *Biochemical Engineering Journal*, Volume 185, 108541,ISSN 1369-703X, <https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108541>.
29. Thevarajah B, Nishshanka GKSH, Premaratne M. (2023). Cyanobacterial pigment production in wastewaters treated for heavy metal removal: current status and perspectives. *J Environ Chem Eng* 11:108999. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108999>

MORPHOLOGICAL EVALUATIONS ON THE ANATOMY AND FUNCTIONAL STRUCTURE OF THE TAIL IN DOMESTIC CATS

Ramazan İLGÜN

¹Aksaray University, Veterinary Medicine, Department of Anatomy, Aksaray, Türkiye
rilgun1980@hotmail.com, **ORCID:**0000-0003-0150-3008

ABSTRACT

The tail structure of domestic cats from the Felidae family, which has an important place in our social life today, is an anatomical structure formed by the combination of bone, muscle, vascular and nerve anatomical structures. It is also important in naming cats as a species and because they have different functional tasks. Tail shape and macroanatomical structure play an important role in Veterinary medicine in terms of enabling cats to interact socially with each other and detecting diseases that may occur due to external factors. The aim of our review is to compile scientific studies on tail anatomy and functional structure in domestic cat species, which have an important place in our social life. When the Anatomical Structure and Functions of the tail in domestic cats are examined in our compilation study, the number of tail vertebrae, called Vertebrae caudales, which is a continuation of the spine and varies depending on the cat species, is 21-23. The muscular structure of the tail consists of M.sacrocaudalis and M.coccygeus muscles. In addition, the urogenital organs in this region, the glands in this region and the tail are in contact, and the oily and pheromone secretions produced by the glands are generally important for sexual and social marking behaviors. In summary, information about the tail and surrounding anatomical structures in cats, species distinction, the functional status of the tail in courtship and mating, and the status of the urogenital anatomical structures are presented in our compilation.

As a result, it is concluded that the anatomical structure of the tail has important anatomical and physiological importance in cats and has a critical importance in diagnosis and treatment in Veterinary medicine by giving important clues, especially in disease and traumatic situations.

Keywords: Cat, coccygeal, urogenital systems.

INTRODUCTION

The tail structure of domestic cats, which has an important place in our social life, is an anatomical structure formed by the combination of bone, muscle, vein and nerve anatomical structures. It is also important in distinguishing cats as species and because they have different functional tasks. The tail shape and macroanatomical structure play an important role in Veterinary medicine in terms of cats' social interaction with each other and in the detection of diseases that may occur due to external factors. The purpose of our review is to compile scientific studies on the tail Anatomy and Functional structure of domestic cats, which have an important place in our social life (1, 2, 6, 8). Reighard and Jennings (2022) reported that when we examine the macroanatomical features of the tail vertebrae in cats, the general features of a vertebra, arcus vertebrae, processus transversus, proc.art. cranialis and proc.art. caudalis joint protrusions are evident up to the 8th or 9th vertebra, while the proc. transversus lateralis is reduced in size at the 9th vertebra (7). Vertebrae caudales-coccygea form the bones of the tail. Dursun (2008) reports that the corpus structure found in the normal vertebral structure begins to change after the 1st-2nd tail vertebrae and becomes a small cylindrical bony formation (5). The average number of tail vertebrae in dogs is 18-22 (5), while in other literature (7) it is reported that the number of tail vertebrae in cats varies between 21-23 (7). It is reported that there are small protrusions, the proc. hemalis, as you approach the last tail vertebra. It has been reported in the literature (7) that the last tail vertebra is more pointed than the others and is a separate conical piece at the tail end (7).

Musculi caudae tail muscles are very well developed in cats (1, 2, 3). It has been reported in the literature (4, 5) that there are two groups of tail muscles and that these extend from the pelvis to the first tail vertebra, and the second group of tail muscles, the origins and insertions of which are located in the lower part of the tail skeleton, are; m.sacrocaudalis, ventralis medialis, m.sacrocaudalis ventralis lateralis, m.sacrocaudalis dorsalis medialis located on the tail, m.sacrocaudalis dorsalis lateralis located on the tail and m.sacrocaudalis ventrales caudae and mm.sacrocaudalis dorsales caudae located on the side of the tail (4, 5). It is reported that these muscle groups provide the functions of lifting and lowering the tail, pressing the tail and approaching the perineal region, and taking it between the legs (1, 6, 8). Since domestic cats are one of the most extensively studied animals, especially in the fields of neuroanatomy and behavior, the behavior of the tail has provided important findings in scientific terms. In the literature on its importance in terms of movement and balance (1, 2, 3), it has been concluded that the balance adjustments made by the tail in response to balance disorders are of descending (probably vestibular) origin rather than segmental, and reflex studies conducted in cats with sacrocaudal transection have revealed that segmental tail reflexes increase rather than decrease (1, 2, 3).

The fact that the hierarchy in the interpretation of behavior in tail movements and the upward movement are seen as affiliation behavior only in domestic cats and lions, which come from different evolutionary lineages, indicate that this signal probably evolved as a result of similar selective pressures acting only on the two most social cat species (1, 2, 3).

Tail Movements in Cats

Cats use their body language very well to express their feelings, emotions and desires. Tail movements in particular are one of the most important meanings in cat body language communication. In the literature (6), you can learn about your pet cat's feelings, mood, movements and desires by observing how it moves its tail. It is reported that an upright and upward tail movement indicates happiness, self-confidence and attracting attention, a wagging tail movement indicates excitement, nervousness and caution, lowering the tail indicates illness, curling it indicates a sense of security and sleep, and waving the tail indicates being under threat and fear (2, 6, 8).

CONCLUSION

As a result, it is concluded that the anatomical structure of the tail has significant anatomical and physiological importance in cats and is of critical importance in diagnosis and treatment in veterinary medicine, providing important clues, especially in disease and traumatic conditions.

REFERENCES

1. Bradshaw, J., and Cameron-Beaumont, C. (2000). The signalling repertoire of the domestic cat and its undomestic relatives D.C. Turner, P. Bateson (Eds.), *The Domestic Cat: The Biology of its Behaviour* (second ed.), Cambridge University Press, pp. 67-93.
2. Cafazzo, S. and Natoli, E. (2009) The social function of tail up in the domestic cat (*Felis silvestris catus*), *Behavioural Processes*, Volume 80, Issue 1, Pages 60-66.
3. Curt, W., Charles, J., Vierck, L. and Ritz. A. (1998). Balance in the cat: role of the tail and effects of sacrocaudal transection, *Behavioural Brain Research*, Volume 91, Issues 1–2, pp 41-47.
4. Dursun, N., *Veteriner Topografik Anatomi*. Medisan yayınevi. Ankara, pp 118-126, 2007.
5. Dursun, N., *Veteriner Anatomi I*. Medisan Yayinevi, Ankara, pp 132, 2008.
6. https://www.petsmart.com.tr/blog/icerik/kedilerde-kuyruk-hareketleri-anlamlari-ve-yorumlama?srsltid=AfmBOopmW6uYf8qUz5dRmQpsbWp_CSZlxQegZH644FHJaddLQKh pGIK.
7. Reighard, J., & Jennings, H. S. (2022). *Anatomy of the Cat*. DigiCat, pp 90-150.
8. Wada, N., Nakata, A., Koga O. and Mikihiko, T. (1994). Anatomical study of the cat tail and tail movement due to activity of the tail muscles. *Journal of Veterinary Medical Science*, Vol. 56, No. 6, pp. 1107-1112.



EGE 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
DECEMBER 26 – 30, 2024 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-5962-10-2

MORPHOLOGICAL EVALUATIONS ON THE ANATOMY AND FUNCTIONAL STRUCTURE OF THE TAIL IN DOMESTIC CATS

Ramazan İLGÜN

¹Aksaray University, Veterinary Medicine, Department of Anatomy, Aksaray, Türkiye
rilgun1980@hotmail.com, **ORCID**:0000-0003-0150-3008

ABSTRACT

The tail structure of domestic cats from the Felidae family, which has an important place in our social life today, is an anatomical structure formed by the combination of bone, muscle, vascular and nerve anatomical structures. It is also important in naming cats as a species and because they have different functional tasks. Tail shape and macroanatomical structure play an important role in Veterinary medicine in terms of enabling cats to interact socially with each other and detecting diseases that may occur due to external factors. The aim of our review is to compile scientific studies on tail anatomy and functional structure in domestic cat species, which have an important place in our social life. When the Anatomical Structure and Functions of the tail in domestic cats are examined in our compilation study, the number of tail vertebrae, called Vertebrae caudales, which is a continuation of the spine and varies depending on the cat species, is 21-23. The muscular structure of the tail consists of M.sacrocaudalis and M.coccygeus muscles. In addition, the urogenital organs in this region, the glands in this region and the tail are in contact, and the oily and pheromone secretions produced by the glands are generally important for sexual and social marking behaviors. In summary, information about the tail and surrounding anatomical structures in cats, species distinction, the functional status of the tail in courtship and mating, and the status of the urogenital anatomical structures are presented in our compilation.

As a result, it is concluded that the anatomical structure of the tail has important anatomical and physiological importance in cats and has a critical importance in diagnosis and treatment in Veterinary medicine by giving important clues, especially in disease and traumatic situations.

Keywords: Cat, coccygeal, urogenital systems.

INTRODUCTION

The tail structure of domestic cats, which has an important place in our social life, is an anatomical structure formed by the combination of bone, muscle, vein and nerve anatomical structures. It is also important in distinguishing cats as species and because they have different functional tasks. The tail shape and macroanatomical structure play an important role in Veterinary medicine in terms of cats' social interaction with each other and in the detection of

diseases that may occur due to external factors. The purpose of our review is to compile scientific studies on the tail Anatomy and Functional structure of domestic cats, which have an important place in our social life (1, 2, 6, 8). Reighard and Jennings (2022) reported that when we examine the macroanatomical features of the tail vertebrae in cats, the general features of a vertebra, arcus vertebrae, processus transversus, proc.art. cranialis and proc.art. caudalis joint protrusions are evident up to the 8th or 9th vertebra, while the proc. transversus lateralis is reduced in size at the 9th vertebra (7). Vertebrae caudales-coccygea form the bones of the tail. Dursun (2008) reports that the corpus structure found in the normal vertebral structure begins to change after the 1st-2nd tail vertebrae and becomes a small cylindrical bony formation (5). The average number of tail vertebrae in dogs is 18-22 (5), while in other literature (7) it is reported that the number of tail vertebrae in cats varies between 21-23 (7). It is reported that there are small protrusions, the proc. hemalis, as you approach the last tail vertebra. It has been reported in the literature (7) that the last tail vertebra is more pointed than the others and is a separate conical piece at the tail end (7).

Musculi caudae tail muscles are very well developed in cats (1, 2, 3). It has been reported in the literature (4, 5) that there are two groups of tail muscles and that these extend from the pelvis to the first tail vertebra, and the second group of tail muscles, the origins and insertions of which are located in the lower part of the tail skeleton, are; m.sacrocaudalis, ventralis medialis, m.sacrocaudalis ventralis lateralis, m.sacrocaudalis dorsalis medialis located on the tail, m.sacrocaudalis dorsalis lateralis located on the tail and m.sacrocaudalis ventrales caudae and mm.sacrocaudalis dorsales caudae located on the side of the tail (4, 5). It is reported that these muscle groups provide the functions of lifting and lowering the tail, pressing the tail and approaching the perineal region, and taking it between the legs (1, 6, 8). Since domestic cats are one of the most extensively studied animals, especially in the fields of neuroanatomy and behavior, the behavior of the tail has provided important findings in scientific terms. In the literature on its importance in terms of movement and balance (1, 2, 3), it has been concluded that the balance adjustments made by the tail in response to balance disorders are of descending (probably vestibular) origin rather than segmental, and reflex studies conducted in cats with sacrocaudal transection have revealed that segmental tail reflexes increase rather than decrease (1, 2, 3).

The fact that the hierarchy in the interpretation of behavior in tail movements and the upward movement are seen as affiliation behavior only in domestic cats and lions, which come from different evolutionary lineages, indicate that this signal probably evolved as a result of similar selective pressures acting only on the two most social cat species (1, 2, 3).

Tail Movements in Cats

Cats use their body language very well to express their feelings, emotions and desires. Tail movements in particular are one of the most important meanings in cat body language communication. In the literature (6), you can learn about your pet cat's feelings, mood,

movements and desires by observing how it moves its tail. It is reported that an upright and upward tail movement indicates happiness, self-confidence and attracting attention, a wagging tail movement indicates excitement, nervousness and caution, lowering the tail indicates illness, curling it indicates a sense of security and sleep, and waving the tail indicates being under threat and fear (2, 6, 8).

CONCLUSION

As a result, it is concluded that the anatomical structure of the tail has significant anatomical and physiological importance in cats and is of critical importance in diagnosis and treatment in veterinary medicine, providing important clues, especially in disease and traumatic conditions.

REFERENCES

1. Bradshaw, J., and Cameron-Beaumont, C. (2000). The signalling repertoire of the domestic cat and its undomestic relatives D.C. Turner, P. Bateson (Eds.), *The Domestic Cat: The Biology of its Behaviour* (second ed.), Cambridge University Press, pp. 67-93.
2. Cafazzo, S. and Natoli, E. (2009) The social function of tail up in the domestic cat (*Felis silvestris catus*), *Behavioural Processes*, Volume 80, Issue 1, Pages 60-66.
3. Curt, W., Charles, J., Vierck, L. and Ritz, A. (1998). Balance in the cat: role of the tail and effects of sacrocaudal transection, *Behavioural Brain Research*, Volume 91, Issues 1–2, pp 41-47.
4. Dursun, N., *Veteriner Topografik Anatomi*. Medisan yayınevi. Ankara, pp 118-126, 2007.
5. Dursun, N., *Veteriner Anatomi I*. Medisan Yayınevi, Ankara, pp 132, 2008.
6. https://www.petsmart.com.tr/blog/icerik/kedilerde-kuyruk-hareketleri-anlamlari-ve-yorumlama?srsltid=AfmBOopmW6uYf8qUz5dRmQPsbWp_CSZlxQegZH644FHJaddLQKh pGIK.
7. Reighard, J., & Jennings, H. S. (2022). *Anatomy of the Cat*. DigiCat. pp 90-150.
8. Wada, N., Nakata, A., Koga O. and Mikihiko, T. (1994). Anatomical study of the cat tail and tail movement due to activity of the tail muscles. *Journal of Veterinary Medical Science*, Vol. 56, No. 6, pp. 1107-1112.

EVALUATIONS ON MALE GENITAL SYSTEM MORPHOLOGY AND ENDOCRINE MECHANISM OF SPERMATOGENESIS IN DOGS

Ramazan İLGÜN¹
Caner ÖZTÜRK²

¹Aksaray University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Anatomy, Aksaray,
Türkiye
rilgun1980@hotmail.com, **ORCID:0000-0003-0150-3008**

¹Aksaray University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Reproduction and
Artificial Insemination, Aksaray, Türkiye
canerozturkvt@gmail.com, **ORCID:0000-0003-0566-0684**

ABSTRACT

The anatomical structures that form the genital system in male dogs, which has an important place in our rural and urban social life, are very important in terms of the survival of the reproductive ability of the creature. The fact that the penis, one of the genital organs of male dogs, also has a urination function plays an important clinical role in Veterinary medicine in terms of the diagnosis of possible urogenital system diseases. Morphologically, the male genital system consists of the testicles, epididymis, ducts and genital accessory glands that provide movement and motility to the sperm with their secretions, the penis and preputium where urine and sperm are excreted. Spermatogenesis is governed by neuroendocrine activity along the hypothalamic-pituitary-testicular axis. Less is known about the effects of LH, FSH, and testosterone on spermatogenesis in dogs than in other species. GnRH agonists reduce the effects of pituitary GnRH receptors, leading to decreased gonadotropin secretion and testosterone production. Gonadotropin deficiency in dogs results in complete cessation of spermatogenesis in approximately 2–4 weeks and the absence of sperm cells in the ejaculate in 5–7 weeks. As for the recovery period of spermatogenesis; spermatocytes will begin to appear again in 3 weeks, developing spermatids in 3–9 weeks, and spermatids (complete spermatogenesis) in 9–24 weeks. In dogs, testicular size returns to normal within 24–27 weeks and sperm density reaches its previous level within 29 weeks. The aim of our review is to compile scientific references on the morphology of the male internal and external genital system in dogs, sperm production and endocrine control of Spermatogenesis.

As a result, it is concluded that the morphology and hormonal mechanism of the genital system in male dogs are of critical importance in diagnosis, analysis and treatment in Veterinary medicine in diseases, pathological conditions and artificial insemination applications.

Keywords: Endocrine system, genital system, male dog, Spermatogenesis

INTRODUCTION

The anatomical structures that form the male genital system in dogs, which have an important place in our rural and urban social life, are important for the survival of the reproductive ability of the creature and the continuation of its lineage. The fact that the penis, one of the genital organs of male dogs, has the function of mating and urination plays an important clinical role in Veterinary medicine in terms of the diagnosis and prognosis of possible urogenital system diseases.

The male reproductive organs consist of the internal reproductive organs, the testes, which produce sperm, the epididymis, which stores sperm, the ductus deferens, which transmits sperm, the accessory reproductive glands, which provide the color, vitality, odor, consistency and fertilization ability of the sperm, the external reproductive organs, the urethra masculina, the urinary and copulatory organ penis, and the skin of the penis, the preputium (1, 4, 5).

Testis

It weighs an average of 10-15 g in dogs and has two surfaces, facies lateralis and facies medialis, and two ends, extremitas capitata and extremitas caudata. It consists of seven layers as tunica testis (4, 5). In the testis; Spermatozoa develop in the seminiferous tubules and are reported to pass from the straight tubules to the intratesticular rete in the mediastinum testis, leave the testis via the rete testis and enter 13-20 efferent ductules, depending on the species (6).

Scrotum

The outermost of the tunica testis layers, the cutis scroti cutis skin is thin and elastic. It contains fine hair. The raphe scroti is the median line and the line corresponding to each testicular protrusion. The vascular supply of the testis is provided by the a.testicularis. In the dog, it is anatomically located in the regio perinealis region (4). The thermoregulatory function of the scrotum is provided by the m.creamaster muscle and the plexus pampiniformis of the testicular arteries and veins, which provide maximum contact of the cooled venous blood with the warmer arterial blood (6).

Epididymis

It is divided into three anatomical parts as caput, corpus and cauda epididymis. Caput epididymis is located at the anterior end of the testis in dogs. Corpus epididymis ductuli efferentes is formed by the ductus epididymis channel where the testis opens and is the part where spermium is stored and gains the ability to fertilize, it continues as ductus deferens and opens as ductus ejaculatorius in dogs (4, 5).

Glandulae genitales accessoriae

The accessory reproductive glands are the glandula vesicularis, prostata and glandula bulbourethralis. The glandula vesicularis is not present in carnivores. The prostate is large, single-lobed in carnivores and forms a large portion of the ejaculate. The glandula bulbourethrales has a secretion that provides the consistency of the sperm (1, 4).

Penis

The penis is the mating organ and also an organ of the male genital system that allows the discharge of urine and the transfer of sperm into the vagina during copulation. The penis consists of three main parts. The root of the penis is called the radix penis, the body is called the corpus penis, and the head is called the glans penis. In dogs, the glans penis is long and has a bone surrounded by the corpus spongiosum Os penis, and this bone opening is in the form of a grooved catheter pointing downwards, through which the urethra passes (4).

Urethra Masculina

A long canal that allows urine and semen to be expelled (4).

Preputium

It is a sheath made of skin surrounding the penis. In dogs, it contains long hairs (4).

Endocrine mechanism of spermatogenesis

The production of sperm cells is controlled by the influence of many hormones. The primary organs that produce the hormones involved in the production process are the hypothalamus, pituitary gland and testes. Some of the pituitary hormones, such as follicle stimulating hormone (FSH) and luteinizing hormone (LH), as well as the gonadal hormones – androgens and estrogens (3) – are considered the basic hormones for spermatogenesis (7).

Estrogens also play important roles during spermatogenesis (3). The testes have two main functions: sperm cells and hormone production. Spermatogenesis begins with the mitotic division of spermatogonia, and after two meiotic divisions activated by retinoic acid at puberty, spermatids are released into the lumen of the seminiferous tubules by the process of spermination. Spermination is regulated by FSH and testosterone (2, 7).

Serum Anti-Müllerian hormone (AMH) is stimulated by FSH and is present at high levels before puberty. This hormone decreases during puberty due to FSH suppression by LH-induced androgens (10). In addition to being responsible for the regression of the Müllerian ducts during male sexual differentiation, AMH also plays a role in the regulation of androgen production in the testes after birth (8).

Sertoli cells are unique somatic cells extending from the basement membrane to the lumen of the seminiferous tubules and play important roles during spermatogenesis and spermination. These cells produce the androgen binding protein (ABP) required to maintain the necessary testosterone levels in spermatogenic cells. Leydig cells, which are extratubular somatic cells, are under the control of the gonadotropin LH and produce the testosterone hormone required for spermatogenesis in these cells. Testosterone levels in the testes have been reported to be 100 times higher than in blood serum (9).

CONCLUSIONS

As a result, it is concluded that genital system morphology in male dogs, sperm formation, hormonal mechanism, urogenital system diseases, pathological conditions and artificial

insemination applications are of critical importance in veterinary medicine in diagnosis, analysis and treatment. It review study will shed light on scientific studies to be conducted on the male dog genital system.

REFERENCES

1. Bahadır, A., and Yıldız, H., *Veteriner Anatomi II, (İç Organlar)*, Ezgi Yayıncılık, Bursa, 2005, pp 84-99.
2. Beardsley, A., Robertson, D. M., and O'Donnell, L. (2006). A complex containing $\alpha 6\beta 1$ -integrin and phosphorylated focal adhesion kinase between Sertoli cells and elongated spermatids during spermatid release from the seminiferous epithelium. *Journal of Endocrinology*, 190(3), 759-770.
3. Carreau, S., Delalande, C., Silandre, D., Bourguiba, S., & Lambard, S. (2006). Aromatase and estrogen receptors in male reproduction. *Molecular and cellular endocrinology*, 246(1-2), 65-68.
4. Dursun, N., *Veteriner Anatomi II*. Medisan Yayınevi. Ankara, 60-62, 1996.
5. Dursun, N., *Veteriner Topografik Anatomi*. Medisan yayınevi. Ankara, pp 120-128, 2007.
6. Foster, R.A. (2016). Male Genital System. Jubb, Kennedy & Palmer's Pathology of Domestic Animals: Volume 3. 2016:465–510.e1. doi: 10.1016/B978-0-7020-5319-1.00016-5. Epub 2016 Mar 18. PMID: PMC7271154.
7. Nicholls, P. K., Harrison, C. A., Walton, K. L., McLachlan, R. I., O'Donnell, L., and Stanton, P. G. (2011). Hormonal regulation of sertoli cell micro-RNAs at spermiation. *Endocrinology*, 152(4), 1670-1683.
8. Spiraman, V., Niu, E., Matias, J. R., Donahoe, P. K., MacLaughlin, D. T., Hardy, M. P., and Lee, M. M. (2001). Müllerian inhibiting substance inhibits testosterone synthesis in adult rats. *Journal of andrology*, 22(5), 750-758.
9. Verhoeven, G., Willems, A., Denolet, E., Swinnen, J. V., and, De Gendt, K. (2010). Androgens and spermatogenesis: lessons from transgenic mouse models. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1546), 1537-1556.
10. Young, J., Chanson, P., Salenave, S., Noël, M., Brailly, S., O'Flaherty, M., ... & Rey, R. (2005). Testicular anti-mullerian hormone secretion is stimulated by recombinant human FSH in patients with congenital hypogonadotropic hypogonadism. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 90(2), 724-728.

MAVİ GIDALARDA ÇEŞİTLİLİĞİN KÜRESEL VE BÖLGESEL BELİRLEYİCİLERİ

Dr. Veysel PARLAK

Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Yakutiye, Erzurum.

Veysel.parlak@atauni.edu.tr - ORCID: 0000-0002-3459-7963

Doç. Dr. Arzu UÇAR

Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Yakutiye, Erzurum.

arzuucar@atauni.edu.tr - ORCID NO: 0000-0001-5675-9401

Prof.Dr. Gonca ALAK

Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Yakutiye,
Erzurum.

galak@atauni.edu.tr - ORCID NO: 0000-0002-7539-1152.

Prof.Dr. Muhammed ATAMANALP

Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Yakutiye, Erzurum.

mataman@atauni.edu.tr - ORCID NO: 0000-0002-2038-3921

ÖZET

Sucul ekosistemde yer alan Mavi gıdalar oldukça çeşitlidir. Ayrıca bu gıdalar üretim uygulamaları ve pazar imkânları ile desteklenir. Sucul gıda sistemlerinin sürdürülebilirliği, küresel gıda güvenliği ve yetiştiricilik sistemlerindeki yeniliklerin yayılmasını ve yeniliklerin benimsenmesini oldukça önemlidir. Ürün çeşitliliği hem avcılık hem de su ürünleri yetiştiriciliği üretiminin küresel ve ülke düzeyindeki ilerlemelerine göre farklılık göstermektedir. Elde edilen veriler, balıkçılık üretiminin su ürünleri yetiştiriciliği üretiminden daha çeşitli olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra sosyal ve ekonomik faktörlerin, biyofiziksel faktörler kadar tür çeşitliliği etkilediği görülmektedir. Sektörel yönetim zayıfladığında çeşitlilik azalır ve bu beslenmeye duyarlı gıda üretimi için balıkçılığı yönetmede zorluklar yaratır. Ayrıca önemli bir gıda kaynağı olan su ürünlerinde, çeşitliliğin azalması, gıdaya ulaşmakta zorluk çeken daha düşük gelir gruplarını olumsuz bir şekilde etkileyecektir. Dolayısıyla su ürünleri yetiştiriciliğinin erişimi ile ilgili zorluklarında ele alınması, bu sektörün yaygınlaşmasında oldukça önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Balıkçılık, Su ürünleri yetiştiriciliği, Sağlıklı gıda,

Giriş

Hem avcılık yoluyla elde edilen hem de çiftliklerde yetiştirilen su ürünleri genel olarak mavi gıdalar olarak adlandırılır ve son zamanlarda besin güvenliği hedefleri ile gıda üretiminin çevresel sürdürülebilirliğini uzlaştırma potansiyelleri nedeniyle dikkat çekmiştir (Gephart vd. 2021). Mavi gıdalar oldukça çeşitli olup avcılık ve su ürünleri yetiştiriciliğinden elde edilen ürünler, tür ve ekosisteminin bulunduğu yer bakımından önemli değişiklikler göstermektedir (Garlock vd. 2020). Doğal ortamdan yakalanan ve çiftliklerde yetiştirilen mavi gıdaların çeşitliliği ve bu modellerin gıda sektöründeki önemi oldukça fazla olmasına rağmen sosyoekolojik etkileri açısından belirsizliğini korumaktadır (Hicks vd. 2022). Avcılığı yapılan ve çiftlikte yetiştirilen su ürünleri arasındaki birçok faktör bakımından eşitsizlikler söz konusudur. Günümüzde su ürünleri yetiştiricilik miktarı avcılık yoluyla elde edilen miktarı geçmiş durumdadır. Yetiştiricilik yapılan çiftliklerin çoğunluğu düşük ve orta gelirli ülkelerde bulunmaktadır. Bu üreticilerin sürdürülebilir uygulamalara ayak uydurmaları için maalesef çok az ekonomik teşvikler bulunması sektörün gelişmesini de daha da zorlaştırmaktadır.

Su ürünleri sektörü uluslararası ticarete büyük bir ölçek oluşturmaktadır. Sağlıklı gıda içeriği bakımından, ulusal düzeyde su ürünleri yetiştiriciliğinin benimsenmesinde elde edilen ürünlerin tüketiminin güçlü bir ilişkisi bulunmaktadır (Stentiford ve Holt 2022). Su ürünleri üretimindeki tür çeşitliliğinin ülke düzeyinde belirlenmesi ve ortaya çıkan farklılıkların neden kaynaklı olduğunun belirlenmesi oldukça önemlidir. Küresel açlığın giderilmesinde ve besin güvenliğinde mavi gıdaların potansiyeli oldukça yüksek bir paya sahip olup, avcılık ve su ürünleri yetiştiriciliğinden elde edilen su ürünleri arasındaki tür-çeşitlilik oldukça farklıdır. Su ürünleri içerdiği besin elementleri açısından oldukça yoğun olup küresel mikro besin eksikliklerini ve yetersiz beslenmeyi giderme eşsiz bir kaynaktır (Golden ve ark. 2021). Su ürünleri özellikle protein, omega-3 yağ asitleri, kalsiyum, demir ve B12 vitamin içeriği ile muazzam bir gıda kaynağıdır. Dünya genelinde su ürünleri sektörünün, gıda sektörleri arasında kabul edilmesi ve tedarik zincirinin sağlanması su ürünleri tüketiminin de artmasını desteklemiştir (Belton ve diğerleri, 2020).

Su ürünleri, tüketilen kırmızı ve işlenmiş etlerden daha sağlıklıdır ve kırmızı et tüketiminin su ürünleriyle değiştirilmesi, yaygın olan obezite ve bulaşıcı olmayan hastalıkları azaltmaya yardımcı olabilir (Rimm ve ark. 2018). Genel halk sağlığı ve beslenme politikalarına önem

verilmesi, su ürünleri yetiştiriciliğinin yaygınlaştırılması ve uygun fiyata erişim gibi faktörler, global anlamda sürdürülebilir beslenme diyetlerinde değişikliklerin olmasını kolaylaştırabilecek temel faktörlerdir.

Su ürünleri geleneksel olarak bakıldığında avcılık yoluyla tedarik edilen ürünlerden oluşurken bu durum balıkçılık yönetim sistemini sadece avcılık ile sınırlamaktır. Balık popülasyonları sürdürülebilir olması için bu tür yönetim yaklaşımların gıda ve beslenme güvenliği hedeflerini de dikkate alması gerekmektedir (Hilborn vd. 2020). Avcılık yapılan alanlarının özellikleri ve yönetim sistemleri dikkate alınmadığında, aşırı avlanma sonucunda anında gıda bulunabilirliğini sınırlanabilir (Love vd. 2023).

2. Su ürünleri üretiminde tür çeşitliliği

FAO verilerine göre ülkelerin su ürünleri avcılık ve yetiştiriciliği üretim miktarı ve tür çeşitlilikleri sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmayı yaparken ekoloji de Simpson endeksi kullanılarak, tür çeşitliliği, gruplarının sayısı ve her tür grubunun popülasyon tahmini hesaplanmıştır. Talo 1 de Dünya genelindeki su ürünleri yetiştiricilik miktarları verilmiştir.

Tablo 1. Dünya su ürünleri avcılık ve yetiştiricilik üretimi (ton)

Ülkeler	2017	2018	2019	2020	2021
Çin	46.824.891	47.559.779	48.246.867	49.620.605	51.221.122
Hindistan	6.208.000	7.242.600	7.927.700	8.635.986	9.403.000
Endonezya	5.570.686	5.451.806	5.649.642	5.226.594	5.515.227
Vietnam	3.820.960	4.143.500	4.486.127	4.667.552	4.736.120
Bangladeş	2.333.352	2.405.416	2.488.600	2.583.866	2.638.745
Norveç	1.308.485	1.354.941	1.452.926	1.490.076	1.664.866
Mısır	1.406.865	1.594.231	1.641.949	1.591.896	1.576.189
Şili	1.202.948	1.266.054	1.384.707	1.485.896	1.426.516
Tayland	894.974	921.313	963.267	1.012.650	989.898
Myanmar	1.048.692	1.130.350	1.082.141	1.145.018	929.217
Diğer	9.012.390	9.421.241	9.897.641	10.172.137	10.762.807
Dünya	79.632.242	82.491.232	85.221.567	87.632.276	90.863.706

Kaynak: FAO, 2023

Ülkeler	2017	2018	2019	2020	2021
Çin	15.787.555	15.373.195	14.647.820	13.995.443	13.226.203
Endonezya	6.543.195	6.736.980	7.216.257	7.480.205	6.925.352
Peru	3.796.978	4.157.414	7.169.817	4.814.962	5.626.542
Rusya	5.176.369	5.531.313	5.320.253	5.458.700	5.504.713
Hindistan	4.759.392	4.864.504	5.108.858	4.974.174	5.072.094
ABD	4.903.670	5.034.030	4.744.569	4.800.499	4.246.176
Vietnam	3.077.841	3.315.207	3.347.039	3.429.029	3.421.880
Japonya	3.200.094	3.205.754	3.130.925	3.163.760	3.151.730
Norveç	2.033.818	2.378.511	2.488.979	2.309.319	2.450.901
Şili	1.674.770	1.801.084	1.871.225	1.895.619	1.919.505
Diğer	43.593.876	45.252.003	38.534.956	38.216.630	40.368.245
Dünya	94.547.558	97.649.995	93.580.698	90.538.340	91.913.341

Kaynak: FAO, 2023

3. Türkiye su ürünleri yetiştiriciliği üretiminin tür çeşitliliği

Aşağıda verilen tablolarda Türkiye’de su ürünleri üretimin iç sular ve denizlerdeki yetiştiricilik miktarları verilmektedir.

Tablo 2. Türkiye su ürünleri avcılık ve yetiştiricilik üretimi (ton)

Yıllar	Denizlerde Yetiştiricilik	İç sularda Yetiştiricilik	Toplam
2012	100.853	111.557	212.410
2013	110.375	123.019	233.394
2014	126.894	108.239	235.133
2015	138.879	101.455	240.334
2016	151.794	101.601	253.395
2017	172.492	104.010	276.502
2018	209.370	105.167	314.537
2019	256.930	116.426	373.356
2020	293.175	128.236	421.411
2021	335.644	136.042	471.686
2022	368.742	146.063	514.805

Kaynak: TÜİK, 2023

İllere göre bu veriler tablo 3 te verilmiştir.

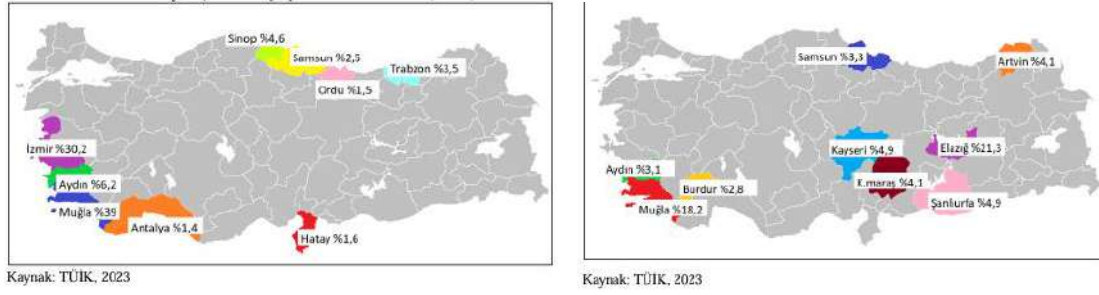
Tablo.3.İllere göre bu veriler

İller	2018	2019	2020	2021	2022
Muğla	115.088	128.706	141.459	144.295	170.206
İzmir	75.084	85.975	99.640	111.547	111.229
Elazığ	18.000	21.550	23.000	26.500	31.106
Mersin	2.788	17.843	19.418	26.299	28.214
Aydın	20.523	25.779	23.571	30.238	27.371
Sinop	3.229	5.353	6.638	6.638	18.405
Samsun	6.666	6.341	12.569	14.721	13.971
Trabzon	5.541	7.702	8.315	11.040	13.256
Şanlıurfa	4.000	5.025	7.004	7.658	7.161
Kayseri	4.143	3.258	3.974	3.984	7.135
Diğer	57.924	63.019	72.694	85.343	93.886
Türkiye	314.537	373.356	421.411	471.686	514.805

Kaynak: TÜİK, 2023

Denizde ve içsularda yetiştiricilik yapılan yerler tablo 4 te verilmiştir.

Tablo. 4. Denizde ve içsularda yetiştiricilik yapılan yerler



4. Tür çeşitliliği

Balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği üretimindeki yüksek orandan çeşitlilik vardır. Tablo 5'te tür üretim miktarları verilmiştir.

Tablo.5. Türler göre üretim miktarları verilmiştir.

Türler	2018	2019	2020	2021	2022
Levrek	116.915	137.419	148.907	155.151	156.602
Alabalık (İç su)	76.680	99.730	109.749	133.476	152.469
Çipura	104.887	116.053	127.905	134.174	144.347
Alabalık (Deniz)	9.610	9.692	18.689	31.509	45.454
Grenyüz (Sarıağız)	907	4.168	4.037	4.585	5.469
Orkinos	3.571	2.327	4.338	4.952	3.879
Midye	1.486	3.375	7.428	5.913	4.771
Diğer	481	592	358	1.926	1.814
Toplam	314.537	373.356	421.411	471.686	514.805

Kaynak: TÜİK, 2023



Kaynak: TÜİK, 2023

5. Avcılık çeşitliliği

Türkiye deniz ürünleri avcılığı iç sulardan fazla yapılmakta olup bu faaliyette özellikle deniz balıklarının önemli bir yeri bulunmaktadır.

Tablo.6. Yıllara göre avcılık miktarları.

Yıllar	Deniz	İç su	Toplam
2013	339.047	35.074	374.121
2014	266.078	36.134	302.212
2015	397.731	34.176	431.907
2016	301.464	33.856	335.320
2017	322.173	32.145	354.318
2018	283.955	30.139	314.094
2019	431.572	31.596	463.168
2020	331.281	33.119	364.400
2021	295.025	33.140	328.165
2022	301.747	33.256	335.003

Kaynak: TÜİK, 2023

Ayrıca türlere göre de avcılık miktarı değişkenlik göstermektedir.

Tablo.7. Yıllara göre avlanan balık türleri

Balık türü	2018	2019	2020	2021	2022
Hamsi	158.094	96.452	262.544	151.598	125.980
Palamut	30.920	1.578	22.743	2.595	49.892
Sardalya	23.426	18.854	19.119	15.800	16.729
İstavrit-	12.985	20.678	19.505	24.006	14.930
Çaça	33.950	20.057	38.078	28.041	11.162
Mezgit	8.248	6.814	8.941	10.380	7.690
Lüfer	1.935	5.767	1.213	5.804	5.495

Kaynak: TÜİK, 2023 *Kraça ve Karagöz

6. Sonuç

Su ürünleri üretimi dünya genelinde incelendiğinde Asya, Amerika ve Avrupa'da bu faaliyetlerin yoğun olarak yapıldığı görülmektedir. Avcılık yoluyla yapılan üretim son yıllarda stabil olarak devam etmekte olup, bu miktar 90 milyon ton seviyelerindedir. Yetiştiricilik üretimine bakıldığında artan bir grafik ile karşılaşmaktayız. Özellikle gıda ürünleri üretimi içerisinde en hızlı büyüyen sektör su ürünleri durumuna gelmiştir. Bu sektörde hem avcılık hem yetiştiricilik alanlarında Çin birinci sırada yer almaktadır. Türkiye'deki su ürünleri üretimi incelediğimizde dünya üretimine benzer bir şekilde sürekli artış olduğu rapor edilmektedir. Özellikle devlet teşvikli su ürünleri yetiştiriciliğinin bu gelişimde payı büyüktür. Su ürünleri, besin içerikleri sayesinde sağlıklı beslenme öğeleri arasında önemli bir yer sahibi olmuştur. Özellikle obezite ile mücadelede hayvansal protein kaynağı olarak balık ve su ürünleri her bilinen kurumlar tarafından önerilir durumu gelmiştir. Ancak Türkiye'de kişi başı tüketim miktarı oldukça düşük olup, gelişmemiş ülkelerin dahi gerisinde kalmıştır. Bu noktada tüketimi artırmaya yönelik teşvik çalışmaları yapılması gerekmektedir.

Kaynakça

- Belton B, Little DC, Zhang W, Edwards P, Skladany M, Thilsted S. 2020. Farming fish in the sea will not nourish the world. *Nat Commun.* 11(1):5804. doi: 10.1038/s41467-020-19679-9.
- FAO, (2023). FishStat Plus-Universal software for fishery statistical time series <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstat/en>.
- Garlock T, Asche F, Anderson J, Bjørndal T, Kumar G, Lorenzen K, Ropicki A, Smith MD, Tveterås R. 2020. A global blue revolution: aquaculture growth across regions, species, and countries. *Rev Fish Sci Aquacult.* 28(1):107–116. doi: 10.1080/23308249.2019.1678111.
- Gephart JA, Henriksson PJG, Parker RWR, Shepon A, Gorospe KD, Bergman K, Eshel G, Golden CD, Halpern BS, Hornborg S, et al. 2021. Environmental performance of blue foods. *Nature* 597(7876):360–365. doi: 10.1038/s41586-021-03889-2.
- Golden CD, Koehn JZ, Shepon A, Passarelli S, Free CM, Viana DF, Matthey H, Eurich JG, Gephart JA, Fluet-Chouinard E, et al. 2021. Aquatic foods to nourish nations. *Nature* 598(7880):315–320. doi: 10.1038/s41586-021-03917-1.
- Hicks CC, Gephart JA, Koehn JZ, Nakayama S, Payne HJ, Allison EH, Belhbib D, Cao L, Cohen PJ, Fanzo J, et al. 2022. Rights and representation support justice across aquatic food systems. *Nat Food.* 3(10):851–861. doi: 10.1038/s43016-022-00618-4.
- Hilborn R, Amoroso RO, Anderson CM, Baum JK, Branch TA, Costello C, de Moor CL, Faraj A, Hively D, Jensen OP, et al. 2020. Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 117(4):2218–2224. doi: 10.1073/pnas.1909726116.
- Love D, Asche F, Gephart JA, Zhu J, Garlock T, Stoll JS, ... Bloem MW. 2023. Identifying opportunities for aligning production and consumption in United States fisheries by considering seasonality. *Rev Fisheries and Aquaculture.* 31:259-273. doi: 10.1080/23308249.2022.2121601.
- Rimm EB, Appel LJ, Chiuve SE, Djoussé L, Engler MB, Kris-Etherton PM, Mozaffarian D, Siscovick DS, Lichtenstein AH, American Heart Association Nutrition Committee of the Council on Lifestyle and Cardiometabolic Health; Council on Epidemiology and Prevention; Council on Cardiovascular Disease in the Young; Council on Cardiovascular and Stroke Nursing; and Council on Clinical Cardiology. 2018. Seafood long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids and cardiovascular disease: a science advisory from the American heart association. *Circulation* 138(1):e35–e47. doi: 10.1161/CIR.0000000000000574.
- Stentiford GD, Holt CC. 2022. Global adoption of aquaculture to supply seafood. *Environ Res Lett.* 17(4):041003. doi: 10.1088/1748-9326/ac5c9f.
- TÜİK, (2023). Su Ürünleri İstatistikleri <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=97&locale=tr>.

AKUAPONİK SİSTEMİNLERİN SWOT ANALİZİ, GELİŞTİRİLMESİ VE STANDARDİZASYONU

Dr. Veysel PARLAK

Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Yakutiye, Erzurum.

Veysel.parlak@atauni.edu.tr - ORCID: 0000-0002-3459-7963

Doç. Dr. Arzu UÇAR

Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Yakutiye, Erzurum.

arzuucar@atauni.edu.tr - ORCID NO: 0000-0001-5675-9401

Prof.Dr. Gonca ALAK

Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Yakutiye,
Erzurum.

galak@atauni.edu.tr - ORCID NO: 0000-0002-7539-1152.

Prof.Dr. Muhammed ATAMANALP

Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Yakutiye, Erzurum.

mataman@atauni.edu.tr - ORCID NO: 0000-0002-2038-3921

ÖZET

Balık yetiştiriciliğinin bitki üretimiyle entegre edilmesi olan akuaponik sistemler, gıda üretiminin çevresel etkilerini azaltma ve yerel olarak üretilen sağlıklı gıda sağlama yöntemi olarak yoğun ilgi görmektedir. Son araştırmalar, bu sistemi uygulayan kişilerin genellikle hobi, yetiştirici-üretici veya eğitimci olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak birçok sistem, deneme-yanılma yöntemleriyle tasarlanan ve yerel olarak mevcut türlerle uygulanan küçük ölçekli deneysel tesislerden evrilmiş durumdadır. Akuaponiğin ticari ölçekli sistemlere yayılması, standartlaştırılması, deneysel tasarım ve performans ölçümlerinin eksikliği nedeniyle sınırlıdır. Bu çalışmada, akuaponik sistemlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini ortaya koymak ve önemli performans parametrelerini incelemek hedeflenmektedir. Bu standardizasyon, akuaponik sistemlerinin tasarımına yardımcı olacak, veri toplama ve analizini kolaylaştıracak, araştırmacılar arasında tutarlılığı teşvik edecek ve ticari sistemlerin ekonomik değerlendirilmesine yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Akuakültür, Akuaponik, Yetiştiricilik Sistemleri

Giriş

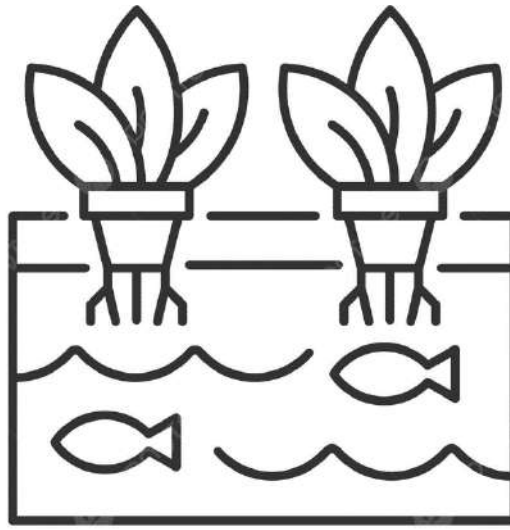
Akvaponik, besin açısından yoğun balık kültürü suyunun işlenip ürün gübrelemesi için kullanıldığı hidroponik sistemlerle, sirkülasyonlu akvakültür sistemlerinin (RAS) birleşimidir. Entegrasyonun amaçlanan sonucu, ticari gübreye minimum bağımlılıkla yoğun su sirkülasyon oranlarına sahip birleşik bir protein ve sebze üretim sistemidir (Yep ve Zheng 2019). Bu amaçlanan sonuçlar, özellikle kurak ve kentsel bölgelerdeki gıda güvensizliğini hafifletmek için son yıllarda hobi, topluluk ve ticari ölçeklerde akvaponiğin benimsenmesini artırmıştır (Hao vd. 2020; Pattillo vd. 2022). Genişleyen akvaponi topluluğundan sürekli olarak ihtiyaçlar ve sorular ortaya çıktıkça, akvaponi üretimi ve işletimi üzerine akademik ve hakemli araştırmalar da artmıştır (Yep ve Zheng 2019; Hao vd. 2020). Büyüyen endüstriyi iyileştirmek için akvaponik araştırmalarına olan devam eden ihtiyaç açıktır. Deneysel tasarım ve raporlama kriterlerinde mevcut standardizasyonun olmaması, tüketiciler ve araştırmacılar için çalışmalar arasında sonuçları karşılaştırma ve farklı çalışma koşullarının ürün (hem bitkiler hem de balıklar) performansı üzerindeki belirgin etkilerini anlama konusunda zorluklar oluşturmaktadır. Ek olarak, deneylerin geçerliliği ve tekrarlanabilirliği yetersiz deneysel süreler, su kalitesi sorunları ve zayıf yem dönüşüm oranları (FCR'ler) ile ilişkili olabilir. Bu çalışma, akvaponik araştırmalarında fiziksel, operasyonel ve performans ölçümlerinin standardizasyonunu savunmaktadır. Standardizasyon, veri toplama ve analizini kolaylaştıracak, araştırmacılar arasında tutarlılığı teşvik edecek ve akademiden endüstriye daha sorunsuz bir geçişi kolaylaştıracaktır. Bu çalışmada önerilen ölçümler, RAS ve hidroponik endüstrilerinde kullanılan mevcut standartlardan türetilmiştir.

2. Akvaponik sistemler

2014, 2015 ve 2022'de yayınlanan akvaponik yetiştirici anketleri, topluluk içindeki ortak uygulamaları ve ihtiyaçları belirledi (Love vd. 2015; Pattillo vd. 2022). Anketlere katılan yetiştiriciler, kendilerini hobiciler, üreticiler veya eğitimciler olarak kategorize ediyor ve küçük ölçekli beslenme, ticari gıda satışları ve danışmanlık hizmetleri veya akademik eğitim ve araştırmadaki özel hedefleriyle uyumlu hale getiriyor. Bu hedefler, karlılık için yoğun üretime, daha yüksek sermaye maliyetlerine rağmen ileri teknolojiye ve filtrasyon sistemlerine yatırım yapmaya hazır olmaya ve tutarlı sebze ve balık üretimine tercihte bulunmaya önem veriyor (Love vd. 2015; Pattillo vd. 2022). Araştırma sistem tasarımı, veri toplama ve performans

ölçümleri, ticari üretime kıyasla beslenme odaklı sistemlerdeki deneyler için farklılık gösterecektir. Belirli sistem hedefleriyle uyumlu çalışmalardan elde edilen bulgular, benzer işletme prosedürleri olmayan sistemler için sınırlı uygulanabilirliğe ve alakalıya sahip olabilir. Çeşitli hedeflere ve üretim ölçeklerine göre uyarlanmış fiziksel, operasyonel ve performans ölçümlerinin geliştirilmesi ve standartlaştırılması, en iyi işletme uygulamalarının araştırma ve akademiden, geçimlik tarım veya ticari üretim yapan bireylere sorunsuz bir şekilde aktarılmasını kolaylaştıracaktır.

Şekil.1. Akuaponik sistem şeması



Türlerin adaptasyonu, RAS'ın akvaponikle aynı bileşenlerin çoğunu içermesi ve karmaşık bir sistemi daha küçük işlevsel birimlere ayırmak için bir birim süreç tasarım yaklaşımı kullanması nedeniyle bir su ürünleri yetiştiriciliği temelinden mümkündür (Malone 2013). Bu yaklaşım, her bir birimin (örneğin balık tankları, katıların giderilmesi, biyolojik filtreler, ozonlama vb.) bağımsız kontrolünü ve optimizasyonunu sağlayarak diğer sistem bileşenleri üzerinde önemli bir etki yaratmadan bireysel performansı garanti eder. Deneyler arasındaki veri tutarlılığını değerlendirmek ve araştırma bulgularını pratik uygulamalara dönüştürmek için RAS ve hidroponik sistemlerden elde edilen kanıtlanmış kriterlere dayalı fiziksel, operasyonel ve performans ölçümlerinin oluşturulması, akvaponik endüstrisindeki ticari ve yarı ticari sektörlerin ilerlemesine ve gelişmesine katkıda bulunacaktır.

3. Sistem özellikleri

Bu bölüm, bir akvaponik sistemin birçok ortak fiziksel bileşenini açıklar. Sistem düzenini tanımlamak ve temel hidrolik işlemleri hesaplamak ve belgelemek için yaklaşımları gösterir.

Önemli temel sistem değişkenleri arasında tank hacimleri, tank alanları, su ve hava akışları, bitki ve balık sayıları ve ağırlıkları, sistem girdileri ve su kalitesi konsantrasyonları bulunur. Bu sistem parametreleri, sistem işlemlerini ve performans parametrelerini geliştirmek için çeşitli şekillerde birleştirilir. Bu parametrelerin tutarlı bir şekilde doğru bir şekilde tahmin edilmesi önemlidir, böylece bir sonraki bölümde sunulan performans ölçümleri çalışmalar arasında karşılaştırılabilir.

3.1. Sistemin avantaj ve dezavantajları

Akvaponik sistemin avantajları şunlardır:

1. **Su Tasarrufu:** Geleneksel tarıma göre su kullanımını önemli ölçüde azaltır.
2. **Organik Üretim:** Kimyasal gübre ve pestisit kullanımını minimum düzeydedir, bu da daha sağlıklı ürünler sağlar.
3. **Verimlilik:** Hem bitki hem de balık üretimi yapılabildiği için alan kullanımını daha verimlidir.
4. **Döngüsel Sistem:** Balık atıkları bitkiler için besin kaynağı olur, bu da doğal bir döngü oluşturur.
5. **Düşük İş Gücü İhtiyacı:** Otomasyon ve entegre sistemler sayesinde iş gücü ihtiyacı azalır.
6. **Çevre Dostu:** Sürdürülebilir bir tarım yöntemi olarak çevreye daha az zarar verir.

Bu avantajlar, akvaponik sistemlerin tarımsal üretimde popüler hale gelmesine katkıda bulunmaktadır.

Akvaponik sistemin dezavantajları şunlardır:

1. **Kurulum Maliyeti:** Başlangıçta yüksek maliyetler gerektirebilir; sistemin kurulumu ve ekipmanları pahalı olabilir.
2. **Teknik Bilgi Gereksinimi:** Başarılı bir şekilde işletmek için belirli bir teknik bilgi ve deneyim gereklidir.
3. **Hava Koşullarına Duyarlılık:** Dış hava koşulları sistemi etkileyebilir; sıcaklık ve nem kontrolü zor olabilir.

4. **Hastalık ve Zararlılar:** Balık ve bitki hastalıkları, tüm sistemi etkileyebilir ve müdahale gerektirebilir.
5. **Dengeleme Zorluğu:** Balık ve bitkiler arasındaki dengeyi sağlamak zor olabilir; yeni başlayanlar için karmaşık hale gelebilir.
6. **Sınırlı Ürün Seçimi:** Bazı bitki türleri, akuaponik sistemlerde yeterince verimli olmayabilir.

Bu dezavantajlar, akuaponik sistemlerin uygulanabilirliğini etkileyebilir ve dikkatli bir planlama gerektirebilir.

Sonuç.

Akuaponik sistem kurmak isteyenler için bazı öneriler şunlardır:

1. **Araştırma Yapın:** Sisteminizi kurmadan önce akuaponik tarım hakkında detaylı bilgi edinin. Farklı türler ve yöntemler hakkında bilgi sahibi olun.
2. **Doğru Ekipmanı Seçin:** Kaliteli pompa, filtre, tank ve bitki yatakları gibi ekipmanların seçiminde dikkatli olun. Uzun ömürlü ve verimli ekipmanlar tercih edin.
3. **Dengeyi Sağlayın:** Balık ve bitkileri bir arada yetiştirirken dengeleri iyi kurun. Balık türü ve bitki türleri arasında uyum göz önünde bulundurulmalıdır.
4. **Su Kalitesini Kontrol Edin:** Su sıcaklığı, pH seviyesi, amonyak ve nitrat seviyelerini düzenli olarak kontrol edin. Su kalitesi, sistemin sağlığı için kritik öneme sahiptir.
5. **Başlangıçta Küçük Başlayın:** İlk deneyimlerinizi küçük bir sistemle başlatın. Küçük ölçekli bir deneme, sorunları daha kolay anlamanızı sağlar.
6. **Bitki ve Balık Çeşitliliğini Artırın:** İlk başta birkaç tür bitki ve balık ile başlayın. Zamanla daha fazla çeşit eklemek, sistemin verimliliğini artırabilir.
7. **Eğitim ve Destek Alın:** Akuaponik projeleri ve topluluklar hakkında eğitim alın. Deneyimli kişilerden yardım almak, sisteminizi daha başarılı hale getirebilir.
8. **Dikkatli İlerleyin:** Sistemi sürekli izleyin ve gerekli ayarlamaları yapın. Herhangi bir sorun çıkarsa, hızlıca müdahale edin.

Bu öneriler, akuaponik sisteminizi daha etkili ve verimli bir şekilde yönetmenize yardımcı olacaktır.

Kaynakça

- Hao Y, Ding K, Xu Y, Tang Y, Liu D, Li G. 2020. States, trends, and future of aquaponics research. *Sustainability* 12 (18):7783. doi: [10.3390/su12187783](https://doi.org/10.3390/su12187783).
- Love DC, Fry JP, Genello L, Hill ES, Frederick JA, Li X, Semmens K. 2014. An international survey of aquaponic practitioners. *PLoS One*. 9(7):e102662. doi: [10.1371/journal.pone.0102662](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102662).
- Pattillo DA, Hager JV, Cline DJ, Roy LA, Hanson TR. 2022. System design and production practices of aquaponic stakeholders. *PLoS One*. 17(4):e0266475. doi: [10.1371/journal.pone.0266475](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266475).
- Yep B, Zheng Y. 2019. Aquaponics trends and challenges – a review. *J Cleaner Products*. 228:1586–1599. doi: [10.1016/j.jclepro.2019.04.290](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.290).

THE EFFECTS OF SUSHI CONSUMPTION ON HUMAN HEALTH

İrem KILINÇ¹, Berna KILINÇ²

¹Faculty of Fisheries, Kâtip Çelebi University, 35620 Çiğli-Izmir, Türkiye.

²Faculty of Fisheries, Fish Processing Technology Department, Ege University, 35100 Bornova-Izmir, Türkiye.

ABSTRACT

A popular treat all around the world, sushi delivers a distinctive combination of flavors and textures. Its usage is not risk-free, though. Due to the raw nature of many sushi components and incorrect handling and storage, bacteria such as *Aeromonas hydrophila* and *Listeria monocytogenes* can cause foodborne diseases. Furthermore, parasitic illnesses like anisakiasis are a serious health risk. Seafood can acquire chemical contaminants, especially mercury, which can be harmful to human health, especially for regular consumers. Strict food safety procedures are necessary at every stage of the sushi production and distribution chain to reduce these dangers. Strategies for increasing sushi's safety and shelf life. Although sushi is still a popular option, customers should be cautious and aware of the possible risks. Sushi can be consumed responsibly and securely by people who choose trustworthy restaurants and make educated decisions. To ensure a sustainable future for this cherished culinary tradition, more research is required to create practical solutions to the problems relating to sushi safety and quality. This covers good sanitation, sanitary handling, and appropriate temperature regulation. Innovative technologies, such as non-thermal plasma and edible coatings, offer promising

Keywords: Sushi, seafood safety, potential risks, contaminants, distribution chain

Introduction

The main ingredients of sushi, a classic Japanese cuisine, are rice and raw fish. According to Atanassova et al. (2008), fish is regarded as a nutritious food. To put it another way, it is a ready-to-eat (RTE) cuisine made from raw or cooked fish and popular in Japan and globally (Ramires et al., 2021). Sushi consumption has grown significantly in the last quarter of the 20th century and the first quarter of the 21st (Feng, 2012). Sushi restaurants are becoming more and more common all over the world, and this trend is predicted to continue (Lehel et al., 2020). Retail fresh sushi and other Japanese culinary treats have been becoming more and more well-liked in Europe (Hoel et al., 2015). In recent years, the number of restaurants in Turkey that serve Japanese cuisine has increased. This is particularly true in large shopping malls, where retail stores and certain supermarket stores sell ready-to-eat meals like onigiri and a variety of sushi. In Turkey, a specific segment of the population still preferentially buys and consumes it.

Koshihikari rice and sushi seasoning (sugar, salt, and vinegar) provide sushi its unique texture and flavor, which has made it a popular international cuisine (Molina et al., 2022). However, like other animal products, eating raw fish muscle can have negative health effects,

including ingesting parasites or harmful microorganisms (Atanassova et al., 2008). Therefore, the safety of meals that are ready to eat is a crucial concern. Furthermore, outbreaks of foodborne illness can result from the incorrect handling, storage, and transportation of consumable goods (Liang et al., 2016). Furthermore, the health impacts of excessive exposure, rising global seafood consumption, and ongoing mercury (Hg) inputs into the environment make chemical contaminants like Hg exposure from seafood a persistent public health concern (Karimi et al., 2017).

Cases of anisakiasis (*Anisakis* sp.) and codworm izakiasis (identifies the codworm infection, *Pseudoterranova* [= *Phocanema decipiens*]) have suddenly increased in certain other nations, including the United States and Japan, since 1972. These nematodes' larval stages are found in the muscles of different fish and squid, and the primary way that humans become infected is by eating raw or undercooked fish or squid. Accordingly, it has been proposed that the widespread consumption of sashimi (sliced raw fish fillets) in Japan and the rise in popularity of sushi places that serve it frequently aid in the development of anisakid illnesses (Oshima, 1987). A foodborne zoonotic illness called anisakiasis is linked to eating raw or undercooked seafood, such as sushi. Recent years have seen a rise in the disease's reported incidence (Golden et al., 2022).

The quality effects on shelf-life and risk of sushi consumption

Fish can be reservoirs of antibiotic resistance genes that are easily passed on to humans through the consumption of raw fish, posing a public health concern. The unchecked and excessive use of antibiotics in aquatic environments also encourages the development and spread of antimicrobial resistance (Silva et al., 2019). Sushi is regarded as a nutritious cuisine, however rice, a staple grain around the world, needs to be kept in good condition in cold storage to ensure food safety and satisfy consumer preferences. Information regarding rapidly creating sushi rice that is ready to eat but has a limited shelf life is included in the problem, which focuses on issues with rice quality. Quality, sensory qualities, and customer approval are all impacted by the substantial changes that occur during cooked rice storage, particularly starch retrogradation (Tadele et al., 2024a). The characteristics of sushi's flavors and cooked rice have not been well documented. The purpose of the study was to determine how the technological quality and in vitro digestibility of cooked rice were affected by sushi seasoning created with various vinegars derived from vegetables and cereals. Furthermore, the vinegars used to prepare sushi seasoning and their impact on the texture and hydrolysis of cooked rice were the defining characteristics of the experiments concerning raw and cooked Koshihikari rice (Molina et al., 2022).

Global demand for raw, ready-to-eat (RTE) seafood, such sushi, has been rising; yet, these products may include foodborne infections (Marquis et al., 2023). For instance, raw salmon is frequently used in sushi and sashimi, suggesting that fresh salmon may provide a risk of RTE intake since it occasionally contains *L. monocytogenes* (Skjerdal et al., 2014). In fact, the foodborne pathogen *L. monocytogenes* is most frequently linked to RTE and fish products. Therefore, one study's goal was to find out how *L. monocytogenes* affected commercial salmon sushi in Pelotas, Brazil. Seven private sushi restaurants with a total of 28 sushi pools hosted four sample events. Six samples (21.4%) from two organizations (28.6%) have *Listeria monocytogenes* (Ramires et al., 2021). *Aeromonas hydrophila* is also an emerging foodborne pathogenic bacteria that can cause human gastroenteritis, and the main reservoir is the aquatic

environment. In one study, ready-to-eat (RTE) sushi distributed in various conditions (chilled, dried or frozen) or seasons. For this purpose, the prevalence and virulence of *A. hydrophila* were investigated in another study. Seasonal studies of sashimi and sushi were shown that they had putative virulence genes in the summer prevalence of *A. hydrophila* was significantly lower in sashimi but highest in sushi. These results also showed that sushi could be contaminated from various sources during the production or distribution processes (Park et al., 2021). For instance, the observed discrepancy between products bought from stores and those that were directly gathered from factories demonstrated that inadequate temperature control throughout distribution and store display contributes to microbiological quality. Potentially harmful bacteria, such as mesophilic *Aeromonas* spp. or bacteria from the Enterobacteriaceae, were found in the sushi ingredients during microbiological examination. Raw fish and vegetables can also introduce bacteria into sushi. The findings demonstrated how crucial it is to use premium ingredients and maintain appropriate temperature management in order to guarantee the consistent quality and safety of these food products (Hoel et al., 2015). In this regard, a different study set out to assess the microbiological quality of different kinds of sushi (maki, nigiri, pickled ginger, and wasabi paste) that were bought from restaurants, sushi kiosks, and retail establishments in the Czech Republic. For retail, restaurant, and sushi buffets, the percentage of samples that were above the suggested limits for TVC ($> 7 \log \text{CFU/g}$) was 0%, 6.7%, and 8.9%, respectively. The studied samples may be regarded as microbiologically acceptable because, with the exception of wasabi paste, the average TVC values in all other sushi varieties did not surpass $6 \log \text{CFU/g}$, and no single value above $7 \log \text{CFU/g}$. Neither *Listeria monocytogenes* nor *Salmonella* species were detected. However, *Bacillus cereus* was found to be present in 23 samples (17%) (Hulankova and Furmancikova, 2022). Nigiri, or raw salmon finger sushi, was chosen as a ready-to-eat food target for microbial surveillance in a different study. *Salmonella* spp. were not detected in any of the samples that were collected, and 1.7% of the samples were deemed to be unsatisfactory for having more than 100CFU/g of *E. coli*, indicating that Hong Kong sushi takeout was generally of good hygienic quality (Liang et al., 2016). Additionally, it may expose one to chemical contaminants, including potentially harmful trace metals. The health risks of eating sushi were evaluated for three demographic groups—adults, children, and adolescents—in a study done specifically for this purpose. With an average of eight sushi pieces consumed by adults and adolescents and three by children, teenagers' estimated exposure to mercury was more than the EFSA-established daily tolerable intake, but children's and adults' consumption of mercury was below but near this threshold. Additionally, a comparatively high daily exposure to Ni and Pb was discovered, particularly for teenagers (Gonzalez et al., 2021). In restaurants that specialize in Japanese cuisine (Campinas, Sao Paulo, Brazil), the presence of organic mercury (methyl mercury) in the tuna, salmon, and kane sushi was also examined. The highest concentrations of methyl mercury were seen in sushi that included tuna. Furthermore, the organic mercury concentration in tuna sushi accounts for nearly 90% of the overall mercury content. Additionally, the weekly intake of 140 g of tuna sushi was more than 100% of the children's Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) for methyl mercury (Paiva et al., 2016). Seaweeds are said to be abundant in healthy compounds, but they have also been shown to contain harmful metals like cadmium (Cd), which has sparked continuous debates on their potential health impacts. Therefore, this study assessed the risk of consuming nori and algae, as well as the possible advantages of these seaweeds in lowering the amount of Cd exposure from rice. Although the results of this study indicated that eating

seaweed might be safe, nori should be used with caution. Additionally, consuming specific amounts of algae daily may help lower the amount of Cd exposure from rice (Duan et al. 2024).

Nematode larvae from the *Anisakidae* family produce anisakiasis, a gastrointestinal infection that affects humans. *Pseudoterranova decipiens* and *Anisakis* spp., which have been found in raw squid and raw fish, are the source of this illness. Given the ongoing and growing global habit of eating raw seafood, this illness should always be regarded as a differential diagnosis in patients with acute gastrointestinal symptoms (Kondo, 2018). The anisakis parasite can potentially infect humans after they eat sushi. For instance, a Japanese boy, 15, was sent to the hospital after a worm was discovered in his sputum. Three days prior, he had consumed sushi from a conveyor belt that included whelk, yellowtail, and tuna. He found the worm crawling and complained of nighttime throat pain (Hara et al., 2019). Additionally, a 32-year-old male who had consumed Japanese sushi—bite-sized pieces of cold-cooked rice packed with fish, eggs, or vegetables and wrapped in seaweed—was taken to the hospital with a 1-day history of acute onset epigastric pain. According to the author, the patient's vital signs were normal and there was no medical history. A pale linear worm that had pierced the mucosa in the stomach corpus was then discovered during an emergency endoscopy. In this study, a typical endoscopic result led to the diagnosis of gastric anisakiasis (Kajihara, 2018). In the other investigation, it was discovered that a 39-year-old lady had been hospitalized for many hours after experiencing persistent upper abdominal pain. She consumed sushi that included raw fish from the night before, such as mackerel, salmon, and tuna. Upon physical examination, there was no rebound pain and just epigastric and periumbilical discomfort. There have been reports of *Anisakis* larvae penetrating the gastric mucosa at the upper stomach's larger curvature (Fukita et al., 2014). Eight hours after consuming sushi, a 40-year-old man was admitted with severe upper stomach pain in another research. A 15 mm long nematode larva of *Anisakis simplex* was discovered during emergency gastroscopy; it had also entered the stomach's inflammatory body (Kondo, 2018). For several species of raw fish, the prevalence of *Anisakis* spp. was found to be low, and more research was necessary to fully assess the illness risk in the population under study. To reduce the danger of anisakiosis in the human population, better consumer education and risk communication initiatives should also be put into place (Golden et al., 2022). Additionally, eating sushi can cause allergic reactions in some people. For instance, following two responses to sushi, a 28-year-old man was assessed for food allergies. Four years before to the examination, he had his first episode (his first exposure to sushi); he had eaten crab, salmon, rice, seaweed, eel sauce, ginger, wasabi, and soy sauce. About twenty minutes later, she developed nasal congestion, facial and hand inflammation, and tingling and itching in her hands, face, and ears (Afshan and Mathur, 2023).

The shelf-life extension and precautions against the risk of pathogenic bacteria of sushi

Crucially, the quality and safety of these raw, RTE fish dishes may suffer as a result of microbial contamination of sushi along the supply chain. To lessen the chance of additional microbial growth, careful monitoring of variables like shelf life and storage temperature is crucial. To more precisely ascertain the microbiological makeup of these goods, it is advised that more studies on this subject be carried out with bigger sample numbers and a greater variety of assays, such as proteomics and/or genomes (Marquis et al., 2023). For instance, the presence of *L. monocytogenes* was deemed concerning, suggesting that eating sushi may put people at risk for

listeriosis. Additionally, it was noted that the pathogenic bacteria might be detected for at least a month, underscoring the necessity of better cleaning and sanitation practices in businesses that sell RTE sushi (Ramires et al., 2021). Comparing *L. monocytogenes* in imitation nigiri sushi made with salmon and halibut was the goal of one investigation. In order to achieve this, raw salmon and halibut samples were infected with this pathogenic bacterium, placed on vinegar-marinated sushi rice, and then kept for seven days at 4 and 8 °C. In comparison to controls, the scientists found that the amount of *L. monocytogenes* in vaccinated seafood was much lower after seven days of storage at 4 and 8 °C. The authors clarified that the explanation for the decline in *L. monocytogenes* viability in nigiri sushi was the pH drop in fish muscle (Lorentzen et al., 2012). The low *E. coli* results in one study suggested a larger issue with cross-contamination, specifically the use of a contaminated cutting board and knife for salmon processing. Therefore, prospective methods for improvement were reported to be considered, especially in the cleaning and sanitation of surfaces in touch with food, hand washing and compliance with protocols. Future intervention measures were also reported to take as adjustments to these identified areas to avoid cross-contamination problems and assure the safety of Salmon Nigiri Sushi delivered to consumers (Fathurrahman et al., 2021). In order to reduce the danger of foodborne illness outbreaks, it was suggested that the government undertake more frequent routine inspections and provide sushi business employees on food hygiene, based on the results of another study (Liang et al., 2016). In another research, the authors were described the design and development of a radio frequency identification (RFID) based sushi management (RFSM) system in a conveyor belt sushi restaurant to improve operational efficiency. This system was designed to help a conveyor belt sushi restaurant provide better inventory control, fast replenishment and food safety control, as well as improve the quality of service (Ngai et al., 2008). Distribution time and temperature can also effects the quality of sushi because of growing pathogenic bacteria. In another report, the authors recommended the use of temperatures ≤ 15 °C for 6 hours (the maximum distribution time allowed) for sushi distribution, given the growth of *Salmonella* spp. (Silva et al., 2022). In addition to this, mesophilic *Aeromonas* spp. can also be pose a microbiological hazard in retail sushi products during cold storage. A low storage temperature (≤ 4 °C) in combination with rice acidification were prerequisites for preventing the growth of potentially pathogenic *Aeromonas* species during their relatively short shelf-life (Hoel et al., 2018). One study examined the effect of non-thermal plasma (NTP) on the total viable bacteria count (TVBC) of two common sushi products: nigiri and hosomaki. The sushi samples were processed with NTP using a dielectric barrier discharge system with potential differences of 70 and 80 kV for 5 minutes. The samples were stored at 4 °C for 11 days and analyzed. Although the effect of NTP on TVBC was not statistically significant, a trend in log reduction was observed with a decrease of 1-1.5 log cfu / g. (Kulawik et al., 2018). Another study examined how adding pre-made furcellaran-gelatin edible coatings containing 20% green (GT) and pu-erh (RT) tea extracts affected the characteristics of salmon nigiri that were kept in cold storage. Although in vitro tests on dry films containing GT and RT extracts showed encouraging results, their use on salmon nigiri did not prove advantageous in terms of extending shelf life (Kulawik et al., 2019). In addition to microbiological risks, a number of other variables have impacted sushi quality. To give an example to illustrate this. Nowadays, there is discussion on new developments and tactics to prevent the physical, chemical, and biological deterioration of sushi rice quality. One study highlighted the potential of additives and the importance of specific pH, water content, and temperature to prevent regression in rice. Emphasizing the need for further research and

development were aimed to improve cold storage methods, especially for rice and sushi rice to be ensured the availability of premium rice products that were compromised on quality (Tadele et al., 2024a). It has been engaged in studies on the techniques applied to increase the quality and shelf-life of rice during storage. The impact of multilayer nano/mini furcellaran/chitosan emulsions containing oregano essential oil and LL37 and RW4 bioactive peptides on the texture, pH, color, sensory perception, and retrogradation of salmon sushi was examined in one study using this method. Salmon nigiri and hosomaki sushi were electrosprayed with a three-layer nano/miniemulsion system and then stored at 4 °C for 14 days and at -20 °C for 6 months. Consequently, these results implied that coatings might be useful anti-retrogradation agents for cooked rice. These coatings were found to have nutritional qualities similar to those of starch-based foods, in addition to being a viable natural substitute for enhancing quality (Tadele et al., 2024b).

Conclusion

The popularity of sushi, a delicious food from around the world, has grown significantly. Consuming it, however, is linked to a number of health hazards, such as chemical pollution, parasite infections, and foodborne illnesses. A multifaceted strategy that includes strict food safety procedures, cutting-edge technologies, and consumer education is needed to ensure the safety and quality of sushi. Future studies ought to concentrate on a number of important topics, including: (a) Advanced Microbial Risk Assessment: Developing sophisticated techniques to identify and quantify emerging pathogens in sushi; (b) Chemical Contaminant Monitoring: Implementing robust monitoring programs to track and minimize exposure to harmful substances; (c) Allergen Management: Enhancing allergen labeling and management practices to protect consumers with food allergies; (d) Novel Food Preservation Technologies: Exploring innovative methods to extend the shelf-life and improve the safety of sushi; (e) Consumer Education and Awareness: Promoting consumer education campaigns to raise awareness of the risks and benefits of sushi consumption. By addressing these challenges, people can ensure that sushi remains a safe and enjoyable culinary experience for generations to come.

REFERENCES

- Afshan, T., Mathur, S. (2023). 'Plenty of Allergens in the Sushi'- Food Allergy to Seaweed. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 131(5), S169. <https://doi.org/10.1016/j.anai.2023.08.518>.
- Atanassova, V., Reich, F., Klein, G. (2008). Microbiological Quality of Sushi from Sushi Bars and Retailers. *Journal of Food Protection*, 71(4), 860-864. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-71.4.860>
- Duan, X., Zhou, L., Chen, S.Z., Lin, X.Y., Xue, R.Y., Xue, X.M., Zhou, D., Li, H.B. (2024). Cadmium bioavailability in market nori and kelp: A comparison with rice and mechanisms underlying reduction in rice cadmium bioavailability with nori and kelp consumption. *Science of The Total Environment*, 956, 177329. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177329>
- Fathurrahman, R.N., Rukayadi, Y., Fatimah, U.Z.A.U., Jinap, S., Abdul-Mutalib, N.A., Sanny, M. (2021). The performance of food safety management system in relation to the microbiological safety of salmon nigiri sushi: A multiple case study in a Japanese chain restaurant. *Food Control*, 127, 108111. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108111>
- Feng, C.H.I. (2012). The Tale of Sushi: History and Regulations. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(2), 205-220. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00180.x>
- Fukita, Y., Asaki, T., Katakura, Y. (2014). Some Like It Raw: An Unwanted Result of a Sushi Meal. *Electronic Clinical Challenges and Images in GI, Gastroenterology*, 146, e8-e9. <http://dx.doi.org/10.1053/j.gastro.2013.12.040>
- Golden, O., Caldeira, A.J.R., Santos M.J. (2022). Raw fish consumption in Portugal: A survey on trends in consumption and consumer characteristics. *Food Control*, 135, 108810. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108810>
- Gonzalez, N., Correig, E., Marmelo, I., Marques, A., Cour, R.I., Sloth, J.J., Nadal, M., Marques, M., Domingo, J.L. (2021). Dietary exposure to potentially toxic elements through sushi consumption in Catalonia, Spain. *Food and Chemical Toxicology*, 153, 112285. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112285>
- Hara, Y., Uruma, T., Morishima, Y., Hirai, Y. (2019). Tingling throat syndrome' as asymptomatic anisakiasis following conveyor belt sushi consumption in Tokyo. *International Journal of Infectious Diseases*, 82, 102-103. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2019.03.019>
- Hoel, S., Mehli, L., Bruheim, T., Vadstein, O., Jakobsen, A.N. (2015). Assessment of Microbiological Quality of Retail Fresh Sushi from Selected Sources in Norway. *Journal of Food Protection*, 78(5), 977-982. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-14-480>

- Hoel, S., Vadstein, O., Jakobsen, A.N. (2018). Growth of mesophilic *Aeromonas salmonicida* in an experimental model of nigiri sushi during cold storage. *International Journal of Food Microbiology*, 285, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.07.008>
- Hulankova, R., Furmancikova, P. (2022). Comparison of microbiological quality of various sushi types from sushi kiosks, restaurants and retail. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 27, 100467. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100467>
- Kajihara, Y. (2018). A young man with acute onset epigastric pain after the ingestion of Japanese sushi. *European Journal of Internal Medicine*, 57, e3-e4. <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2018.02.032>
- Karimi, R., Silbernagel, S., Fisher, N.S., Meliker, J.R. (2014). Elevated blood Hg at recommended seafood consumption rates in adult seafood consumers. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 217(7), 758-764. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2014.03.007>
- Kondo, M.D. (2018). Woe sushi: gastric anisakiasis. *Lancet Clinical Picture*, 392:1340.
- Kulawik, P., Alvarez, C., Cullen, P.J., Aznar-Roca, R., Mullen, A.M., Tiwari, B. (2018). The effect of non-thermal plasma on the lipid oxidation and microbiological quality of sushi. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 412-417. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.12.011>
- Kulawik, P., Jamroz, E., Zajac, M., Guzik, P., Tkaczewska, J. (2019). The effect of furcellaran-gelatin edible coatings with green and pu-erh tea extracts on the microbiological, physicochemical and sensory changes of salmon sushi stored at 4 °C. *Food Control*, 100, 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.01.004>
- Lehel, J., Yaucat-Geundi, R., Darnay, L., Palotas, P., Laczay, P. (2020). Possible food safety hazards of ready-to-eat raw fish containing product (sushi, sashimi). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(5), 867-888. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1749024>
- Liang, W.L., Pan, Y.L., Cheng, H.L., Li, T.C., Yu, P.H.F., Chan, S.W. (2016). The microbiological quality of take-away raw salmon finger sushi sold in Hong Kong. *Food Control*, 69, 45-50. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.04.015>
- Lorentzen, G., Breiland, M.S.W., Cooper, M., Herland, H. (2012). Viability of *Listeria monocytogenes* in an experimental model of nigiri sushi of halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) and salmon (*Salmo salar*). *Food Control*, 25(1), 245-248. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.10.038>
- Marquis, G.E., Covaia, S.M., Tabb, A.M., Kitch, C.J., Helberg, R.S. (2023). Microbiological safety and quality of ceviche, poke, and sushi dishes sold at retail outlets in Orange County, CA. *Heliyon*, 9(6), e16862. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16862>
- Molina, C.N., Garzon, R., Rosell, C.M. (2022). Unraveling seasonings impact on cooked rice quality: Technological and nutritional implications for sushi. *Journal of Cereal Science*, 104, 103442. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103442>

- Ngai, E.W.T., Suk, F.F.C., Lo, S.Y.Y. (2008). Development of an RFID-based sushi management system: The case of a conveyor-belt sushi restaurant. *International Journal of Production economics*, 112(2), 630-645. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.05.011>
- Paiva, E.L., Alves, J.C., Milani, R.F., Boer, B.S., Quintaes, K.D., Morgano, M.A. (2016). Sushi commercialized in Brazil: Organic Hg levels and exposure intake evaluation. *Food Control*, 69, 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.04.029>
- Park, S.M., Kim, H.W., Choi, C., Rhee, M.S. (2021). Pathogenicity and seasonal variation of *Aeromonas hydrophila* isolated from seafood and ready-to-eat sushi in South Korea. *Food Research International*, 147, 110484. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110484>
- Ramires, T., Kleinubing, N.R., Iglesias, M.A., Vitola, H.R.S., Nuncio, A.S.P., Kroning, I.S., Moreira, G.M.S.G., Fiorentini, A.M., Silva, W.P. (2021). Genetic diversity, biofilm and virulence characteristics of *Listeria monocytogenes* in salmon sushi. *Food Research International*, 140, 109871. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109871>
- Oshima, T. (1987). Anisakiasis — Is the sushi bar guilty?. *Parasitology Today*, 3(2), 44-48. [https://doi.org/10.1016/0169-4758\(87\)90212-2](https://doi.org/10.1016/0169-4758(87)90212-2)
- Silva, D.C., Lopes, S.M., Aquino, N.S.M., Elias, S.O., Duda, H.A., Tondo, E.C. (2020). Mathematical modelling and validation of *Salmonella enterica* growth in sushi exposed to different time-temperature scenarios found in real sushi establishments. *Food Research International*, 136, 109609. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109609>
- Silva, V., Nunes, J., Gomes, A., Capita, R., Alonso-Calleja, C., Pereira, J.E., Torres, C., Igrejas, G., Poeta, P. (2019). Detection of Antibiotic Resistance in *Escherichia coli* Strains: Can Fish Commonly Used in Raw Preparations such as Sushi and Sashimi Constitute a Public Health Problem?. *Journal of Food Protection*, 82(7), 1130-1134. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-18-575>
- Skjerdal, T., Reitehaug, E., Eckner, K. (2014). Development of performance objectives for *Listeria monocytogenes* contaminated salmon (*Salmo salar*) intended used as sushi and sashimi based on analyses of naturally contaminated samples. *International Journal of Food Microbiology*, 184, 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.03.031>
- Tadele, W., Kulawik, P., Szymkowiak, A., Jambrak, A.R., Ozogul, Y., Ozogul, F. (2024a). Cold-storage preservation of cooked rice quality: Exploring challenges and strategies, featuring insights on sushi rice. *Food Bioscience*, 61, 104553. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104553>
- Tadele, W., Kulawik, P., Stepien, A., Zajac, M., Nowak, N., Grzebieniarz, W., Jasinska, J.M., Vlcko, T., Szymkowich, A., Milosavljevic, V., Debnarova, D., Jamroz, E. (2024b). Effects of multilayer Nano/Mini Furcellaran/Chitosan Emulsions with oregano essential oil and bioactive peptides on sensory, physicochemical properties and retrogradation in Sushi in cold storage conditions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 96, 103767. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103767>

INSULIN PRODUCTION FROM FISH WASTES FOR DIABETICS

Berna KILINÇ¹, İrem KILINÇ²

¹Faculty of Fisheries, Fish Processing Technology Department, Ege University, 35100 Bornova-Izmir, Türkiye.

²Faculty of Fisheries, Kâtip Çelebi University, 35620 Çiğli-Izmir, Türkiye.

ABSTRACT

The potential of fish and fish byproducts to solve global health issues. Although fish is an excellent source of nutrition, large quantities of its byproducts are frequently thrown away. However, bioactive peptides with antidiabetic qualities are present in these by-products. The pancreas secretes the hormone insulin, which is essential for controlling blood sugar levels. It promotes the storage and use of energy by making it easier for cells to absorb glucose. The chronic condition known as diabetes is brought on by either insufficient insulin production or inefficient insulin utilization. As a result, blood sugar levels rise, which over time may harm different organs. A significant risk factor for type 2 diabetes is insulin resistance, a disorder marked by a diminished body's reaction to insulin. It frequently arises as a result of lifestyle choices like sedentary activity and poor eating. To uncover more fish bioactive peptides than antihypertensive, antimicrobial, or antiproliferative ones, present production techniques should be enhanced. Advanced extraction procedures can be used to recover these peptides and include them in nutraceuticals and functional foods. This strategy encourages environmentally friendly behaviors and provides creative ways to manage and avoid chronic illnesses, such as insulin production.

Keywords: Insulin, bioactive peptides, fish by-products, diabetes, chronic disease

INTRODUCTION

Nutrition experts push for diets that are low in fat and high in carbs to combat modern ailments including type 2 diabetes, obesity, and heart disease. This statement suggests that the dangerous dietary groups are those that the general population views as healthy, such as carbs and polyunsaturated vegetable fats. Even while some processed carbohydrates can be tolerated in moderate amounts, long-term usage of them raises the risk of non-communicable illnesses (NCDs). Indigenous civilizations who adopt modern agriculture are developing diseases that were virtually nonexistent previously. Processed diets have been linked, among other things, to systemic inflammation and mitochondrial dysfunction. Their mechanism is insulin resistance, which is at the heart of most NCDs (Noakes et al., 2023). In relation to NCDs, diabetes is spreading like wildfire in the developed world. Moreover, insulin resistance is a major factor in the development of diabetes, which occurs 10–20 years before symptoms appear. Insulin resistance has been associated with persistent low-grade inflammation (Verma et al., 2024). Insulin resistance affects insulin sensitivity and secretion, which hinders glucose metabolism.

Insulin resistance has a major impact on the pathophysiology of type 2 diabetes and the metabolic disorder (Jahandideh and Wu, 2022). Moreover, it has been proposed that insulin resistance, glucose intolerance, and belly obesity are the main risk factors for certain metabolic illnesses. Prevention and treatment are equally important for public health because these individuals are at a very high risk of acquiring cancer and vascular diseases. Fish biopeptides and other products derived from marine fisheries have frequently been demonstrated to lower or completely eradicate these risk factors (Hokmabadinazhad et al., 2022). Thus, recent discoveries of pathways and target cells in the regulation of glucose and metabolic processes have opened up new avenues for the detection of novel bioactive peptides to improve insulin signaling and adipocyte development, glucose uptake, cholecystokinin receptor generation and activation, insulin mimetics, and incretin stimulators (Jahandideh and Wu, 2022).

Marine species such as salmon, cod, herring tuna, shrimp, and squid have been reported with high global value (Ramakrishnan et al., 2023). Since ancient times, fish has always been considered an important human foodstuff. In addition to this, fish can also be used as raw materials for the industrial production of different products. According to Ramakrishnan et al. (2023), marine species with great worldwide value include salmon, cod, herring tuna, shrimp, and squid. Fish has been regarded as a vital food source for humans since prehistoric times. Furthermore, fish can be utilized as raw materials for a variety of industrially produced goods. Fish skin leather, fish oil, glue, pearl essence, pituitary gland, isinglass, chitosan, chitin, fish protein concentrates and hydrolysates, fish scrap and meal, collagen, gelatin, fish fertilizer, compost, and fish silage are some examples of traditional fish products. These goods find significant uses in a variety of industries, including food, cosmetics, aquaculture, and agriculture. There have been reports of several unconventional high-tech fish products, including unique antibacterial proteins from skin. Novel antimicrobial proteins from skin mucus, insulin, albumins, hydroxyapatite, enzymes, blood proteins, protamine, antifreeze proteins, salcotonin, burn treatment bandages, fishbone calcium powder, biopolymer, biochar, bioplastics, and fish industry-derived rinse water recovery are just a few examples of uncommon high-tech fish products that have been reported. According to Sarkar et al. (2023), these products have numerous important uses in the chemical, pharmacological, and biomedical sectors. Due to by-products and side catches from the fisheries and aquaculture industries, this method has produced enormous volumes of garbage. As a result, there is currently a concentrated effort to minimize these wastes while creating beneficial products from aquatic elements. This includes the creation of functional foods with additional value that are derived from fish and help to prevent and maintain health. It is crucial to develop innovative green extraction techniques for bioactive substances from aquatic goods and to create such products from functional marine lipids and proteins. Furthermore, it is crucial to assess the elements influencing consumers' acceptability of functional foods derived from fish (Vidal et al., 2023). Furthermore, preparing fish generates a lot of wastes that are meant for purposes other than feeding. Fish and their waste products are very nutrient-dense. Therefore, in order to produce shelf-stable and healthful products for consumers, the food processing industry needs to gain the knowledge and skill set necessary to completely integrate this technology (Adrah and Thergorabi, 2022). Regarding the significance of the topic, this review summarizes food-derived bioactive peptides with glucoregulatory qualities, fish wastes, and the meaning of insulin and diabetes.

Fish wastes

According to the United Nations Food and Agriculture Organization, low-value waste, storage issues, and short shelf life cause almost 20% of fish to go uneaten. Furthermore, the fish processing sector produces a lot of by-products, which contributes to waste and degradation of the environment (Wang et al., 2024). Put another way, fish waste from the world's fish processing businesses contributes to both disposal issues and a significant amount of processed fish biomass, which mostly causes environmental damage. Proteins, amino acids, enzymes, minerals, lipids, and other substances are typically used to make these fish wastes. This includes a variety of bioactive peptides, carotenoids, omega-3 fatty acids, chitin, chitosan, and more. Most research has shown that by-products from the production of seafood, shellfish and squid are suitable for human use, animal feed and other uses of significant commercial value (Das et al., 2022). However, a lot of waste, like fish protein, is now underutilized or thrown away as waste. Thus, efficient methods for using these fish wastes ought to be required (Gao et al., 2021). Proteins must be carefully extracted and synthesized from these by-products in order to meet the "zero waste" requirement and implement the "biological refinery for high value compounds" strategy. In addition to having the potential to boost the world economy, this also lowers pollution, supports a path towards sustainable development, and is consistent with environmental sustainability goals (Yuan et al., 2024).

Considering the social, economic, and environmental advantages, the mechanical separation of fish meat from waste processing provides a sustainable and alternative method of producing ready-to-eat (RTE) items for human consumption. Existing customers who have a strong need for nutritious food items may be satisfied by RTE fish products made from the processing of fish waste (Adrah and Tahergorabi, 2022). As a result, natural bioactive chemicals derived from marine creature waste have also attracted a lot of attention as functional supplements because of their many positive effects, including healthy brain function, prevention of obesity, cardiovascular, anticancer, and antidiabetic properties, among others. Applications in human food and nutraceuticals, animal husbandry, pharmaceuticals, cell culture, and cosmetics are undoubtedly the result of the hydrolyzing of various wastes, including heads, bones, skin, internal organs, and ornaments, which have antioxidant, blood pressure-regulating, antidiabetic, and anti-inflammatory properties (Haq et al., 2025). For example, fish protein hydrolysates (FPH) have been produced through hydrolysis, breaking down fish or fish by-products into a mixture of fragmented proteins and smaller components such as amino acids, and peptides. Techniques for the purification of bioactive peptides from FPH have been improved rapidly in recent years, but there have been still many challenges, including high costs, low yields, and problems with bioactive peptide separation and analysis. While facing these challenges, techniques such as gel or size exclusion chromatography, ultrafiltration membrane, ion exchange chromatography, affinity chromatography, high performance liquid chromatography, and mass spectrometry continue to comprehensively separate fish bioactive peptides. Despite their intricacy, these techniques are still widely used since they concentrate on finding a quick, simple, and efficient approach of acquiring the required peptides. More fish bioactive peptides than antihypertensive, antibacterial, or antiproliferative ones should eventually be discovered by improving present production techniques (Nirmal et al., 2025). Fish swim bladder (FSB) protein was also found

to have inherent nutritional and health benefits in another study. Additionally, extraction, purification, and concentration procedures have been shown to enhance its pharmacological, biological, and nutritional advantages (Yu et al., 2024).

What is insulin?

Insulin is one of the main hormones that regulate metabolism within the body through a variety of primarily tissue-specific processes. Hormones that homeostatically regulate blood glucose levels are released in response to rising blood glucose and additional nutrition after meals. These hormones include the insulin-regulating incretins glucagon-like peptide-1 (GLP-1) and gastric inhibitory polypeptide, as well as insulin, which is released by the pancreatic β cells (Laney and Tavare, 2009). While galanin, neuropeptide Y, and the polypeptide of the pancreas (PP) encourage food intake, CCK (cholecystokinin) and glucagon-like peptide-1 (GLP-1) suppress it. Meal digestion is aided by CCK, PP, and secretion, which control exocrine secretion and the motility of the gastrointestinal tract. Somatostatin (SS), on the other hand, usually inhibits exocrine secretions. Insulin facilitates absorption by promoting the uptake of dietary molecules (such as glucose, amino acids, and fatty acids) into cells. An organism can grow by producing and accumulating proteins and energy reserves like glycogen and triacylglycerol, which are encouraged by insulin, which is normally anabolic. Insulin-like growth factors, such as IGF-1, also promote cell division and organism growth. The following elements promote the disintegration and discharge of stored energy stores (such as triacylglycerol and glycogen), which aids in the growth of organisms. According to Nelson and Sheridan (2006), glucagon, GLP-1, and somatostatins (SS) all promote the breakdown and mobilization of stored energy reserves.

Diabetes was described as "imagine watching somebody you care about go to waste" in one study. This occurs in spite of an inexhaustible thirst, an insatiable appetite, and seemingly constant urine. This image was taken before the turn of the 20th century and shows a patient with diabetes. Even though diabetes was recognized as early as 552 BC, there was little to do save observe the diabetic's gradual decline in strength, ultimate unconsciousness, and eventual death. Dr. Paul Langerhans identified the pancreatic cells that produce insulin in 1869 (Zuber and Davis, 2020). According to reports, the plasma glucose content in healthy people normally falls between 70 and 100 mg/dl following a long-term fast and does not rise above 120 to 140 mg/dl following food digestion. Gluconeogenesis, the process of creating new glucose from precursors like pyruvate, lactate, glycerol, and gluconeogenic amino acids, or the breakdown of formerly stored glycogen are the two main ways that the liver releases glucose into the bloodstream in the post-absorption state. mostly alanine and glutamine (Simonson, 2009). The prevalence of resistance to insulin syndrome is rising, particularly in those with diabetes. It is believed that consuming more refined carbs and low-fiber foods is linked to a higher risk of developing insulin resistance disorder (Bhattacharya, 2015). An inability of insulin to deliver its typical biochemical, physiological, or clinical consequences is the hallmark of this prevalent metabolic disorder. Insulin resistance has long been recognized as a characteristic of type 2 diabetes and obesity, but there is now a wealth of evidence linking insulin-induced disorders to a variety of other medical conditions, including dyslipidemia, high blood pressure, coronary atherosclerosis, and chronic inflammation. These conditions are collectively referred to as the metabolic syndrome. Another essential component of the metabolic disorder is chronic renal

disease. Kidney illness of any source results in insulin resistance and its aftereffects, and diabetes and hypertension are the two main causes of kidney failure. Certain drug classes, like metformin and thiazolidinediones, have demonstrated promise for addressing many of the medical and metabolic abnormalities linked to insulin resistance, even though diet and exercise are the mainstays of therapy for insulin-resistant conditions (Simonson, 2018).

Food-Derived bioactive peptides with glucoregulatory properties

In keeping with the need for sustainable medical procedures and growing environmental concerns, recent research has examined the possible biomedical applications of chemicals generated from biological waste (Pourmadadi et al., 2024). The use of fish peptides as sustainable ingredients in antidiabetic medications is possible. Gelatins from salmon and tilapia, for instance, demonstrated possible bioactivity as antidiabetic drugs against α -glucosidase. The type of inhibition Munawaroh et al. (2023) predicted would be competitive inhibition on α -glucosidase. Hydrophobic amino acids such as phenylalanine, alanine, proline, methionine, tyrosine, valine, leucine, isoleucine, and tryptophan are primarily found in the peptides derived from their by-products. The length of bioactive peptides ranges from 2 to 20 amino acids. When their primary proteins are inside, they don't move. Hydrolyzed protein yields low molecular weight (0.3–8 kDa) peptides that are water soluble, readily absorbed by the body, and easy to digest (Ramakrishnan et al., 2023). The production of functional foods and/or nutraceuticals for the prevention and management of chronic diseases like inflammation, microbial infections, hypertension, oxidative stress, bone health, hyperlipidemia, cancer, etc., has a lot of potential thanks to bioactive peptides, which are released from their parent proteins primarily through enzymatic digestion or fermentation (Erdmann et al., 2008, Liang et al., 2018; Agrawal et al., 2019; Zhao et al., 2019; Quintal-Bojorquez and Segura-Campos, 2020; Chen et al., 2020). By influencing various bodily targets, such as glucose uptake, intestinal hormone release, insulin secretion and function, carbohydrate digestion, and adipose tissue modification, bioactive peptides may also enhance glucose homeostasis and insulin sensitivity (Laviola et al., 2006; Mlinar et al., 2007; Jahandideh and Wu, 2022). Examples of food-derived bioactive peptides with glucoregulatory properties include Ala-Lys-Ser-Pro-Leu-Phe (AKSPLF), Phe-Glu-Glu-Leu-Gln (FEELN), Val-Pro-Pro (VPP), Val-Phe-Lys-Gly-Leu (VFKGL), Glu-Arg-Tyr-Pro-Ile-Leu (ERKPIL), Ala-Lys-Ser-Pro-Leu-Phe (AKSPLF), Phe-Leu-Val (FLV), Gln-Ala-Met-Pro-Phe-Arg-Val-Thr-Glu-Gln-Glu (QAMPFRVTEQE), Trp-Glu-Lys-Ala-Phe-Lys-Asp-Glu-Asp (WEKAFKDED), Ile-Arg-Trp (IRW), Phe-Leu-Val (FLV), Ala-Thr-Gln-Pro-Leu-Phe (ATNPLF), Leu-Ser-Val-Ser-Val-Leu (LSVSVL), Ala-Gly-Phe-Ala-Gly-Asp-Asp-Ala-Pro-Arg (AGFAGDDAPR), and Val-Arg-Ileu-Arg-Leu-Leu-Gln-Arg-Phe-Asn-Lys-Arg-Ser (VRIRLLQRFNKRS). Although there is now little clinical proof of these bioactive peptides' efficacy, it is unavoidable to demonstrate their use in treating insulin resistance and glucose intolerance (Jahandideh and Wu, 2022).

Additionally, α -glucosidase was used to assess the antidiabetic qualities of tilapia gelatin (TG) and salmon gelatin (SG). Salmon gelatin and tilapia gelatin cross-linked with glutaraldehyde (GA) were utilized and contrasted with varying GA concentrations of 0.05%, 0.1%, and 0.15%. According to performance testing, the gelatin-GA 0.05% combo performed the best. SG and TG's active peptides also showed a significant binding affinity to the α -

glucosidase enzyme, according to antidiabetic bioactivity in vitro and silico experiments. The study's findings led the scientists to declare that the SG and TG cross-linked GA 0.05% had the potential to be an antidiabetic drug and a practical substitute for gelatin generated from mammals (Munawaroh et al., 2023).

Conclusion

Since processed carbs and harmful fats are so widely used, non-communicable diseases (NCDs) including diabetes, heart disease, and obesity are on the rise. Modern dietary patterns frequently overlook these important resources, despite the fact that traditional diets high in fish and seafood have been linked to improved health outcomes. The potential uses of fish and fish byproducts for addressing global health issues is examined in this study. Omega-3 fatty acids are one of the many vital nutrients found in fish, especially marine species, and they have been connected to a number of health advantages. Nonetheless, a sizable portion of fish byproducts (such as heads, bones, skin, and viscera) are frequently thrown away as garbage. Recent research has highlighted these by-products' potential as a source of bioactive peptides, which have a range of bioactivities, including antidiabetic benefits. These peptides can regulate blood sugar levels, improve insulin sensitivity, and reduce the risk of diabetes. Valuable bioactive components can be recovered from fish by-products through sophisticated extraction and purification methods, encouraging environmentally friendly practices. Additionally, there are encouraging opportunities to address global health issues by creating nutraceuticals and functional meals made from fish and fish byproducts. Novel approaches to the prevention and treatment of chronic illnesses might be developed by incorporating these bioactive components into food products. The analysis's conclusion emphasizes how crucial it is to look into the potential advantages of fish and fish by-products as a workable and successful tactic to fight NCDs. People may use these natural resources to enhance human health and well-being by implementing a circular economy strategy and allocating funding for research and development.

References

- Adrah, K., Tahergorabi, R. (2022). Chapter eight-Ready-to-Eat Products Elaborated With Mechanically Separated Fish Meat From Waste Processing. Sustainable Fish Production and Processing, 227-257. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824296-4.00006-2>
- Agrawal, H., Joshi, R., Gupta, M. (2019). Purification, identification and characterization of two novel antioxidant peptides from finger millet (*Eleusine coracana*) protein hydrolysate. Food Research International, 120, 697-707. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.11.028>
- Bhattacharya, M. (2015). A historical exploration of Indian diets and a possible link to insulin resistance syndrome. Appetite, 95,421-454. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.07.002>
- Chen, Y., Chen, J., Chen, J., Yu, H., Zheng, Y., Zhao, J., Zhu, J. (2020). Recent advances in seafood bioactive peptides and their potential for managing osteoporosis. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62(5), 1187-1203. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1836606>
- Dash, S., Shyamalini, S., Dash, P. (2022). Chapter 20 - Evaluation of various possibilities of underutilized fish processing biomass as a value-added product: A waste-to-wealth approach. Innovations in Fermentation and Phytopharmaceutical Technologies,437-455. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821877-8.00011-7>
- Erdmann, K., Cheung, B.W.Y., Schröder, H. (2008). The possible roles of food-derived bioactive peptides in reducing the risk of cardiovascular disease. The Journal of Nutritional Biochemistry, 19(10), 643-654. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2007.11.010>
- Gao, R., Yu, Q., Shen, Y., Chu, Q., Chen, G., Fen, S., Yang, M., Yuan, L., McClements, D.J., Sun, Q. (2021). Production, bioactive properties, and potential applications of fish protein hydrolysates: Developments and challenges. Trends in Food Science & Technology, 110, 687-699. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.031>
- Haq, M., Ali, M.S., Park, J.S., Park, J.S., Kim, J.W., Zhang, W., Chun, B.S. (2025). Atlantic salmon (*Salmo salar*) waste as a unique source of biofunctional protein hydrolysates: Emerging productions, promising applications, and challenges mitigation. Food Chemistry, 462, 141017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141017>
- Hokmabadinazhad, S.A., Songpadith, J.P., Houde, V.P., Pilon, G., Fliss, I., Marette, A., Bazinet, L., Beaulieu, L. (2022). Bioactivity of mackerel peptides on obesity and insulin resistance, an in-vivo study. Food Bioscience, 47, 101641. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101641>
- Jahandideh, F., Wu, J. (2022). A review on mechanisms of action of bioactive peptides against glucose intolerance and insulin resistance. Food Science and Human Wellness, 11(6), 1441-1454. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.06.001>
- Laviola, L., Perrini, S., Cignarelli, A., Natalicchio, A., Leonardini, A., Stefano, F.D., Cuscito, M., Fazio, M.D., Memeo, V., Neri, V., Cignarelli, M., Giorgino, R., Giorgino, F. (2006). Insulin signaling in human visceral and subcutaneous adipose tissue in vivo. Diabetes, 55, 952-961. <https://doi.org/10.2337/diabetes.55.04.06.db05-1414>

- Leney, S.E., Tavaré, J.M. (2009). The molecular basis of insulin-stimulated glucose uptake: Signalling, trafficking and potential drug targets. *Journal of Endocrinology*, 203(1), 1-18. <https://doi.org/10.1677/JOE-09-0037>
- Liang, Q., Chalamaiah, M., Ren, X., Ma, H., Wu, J. (2018). Identification of New Anti-inflammatory Peptides from Zein Hydrolysate after Simulated Gastrointestinal Digestion and Transport in Caco-2 Cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(5), 1114-1120. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04562>
- Mlinar, B., Marc, J., Janez, A., Pfeifer, M. (2007). Molecular mechanisms of insulin resistance and associated diseases. *Clinica Chimica, Acta*, 375, 1-2, 20-35. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2006.07.005>
- Munaworoh, H.S.H., Pratiwi, R.N., Gumilar, G.G., Aisyah, S., Rohilah, S., Nurjanah, A., Ningrum, A., Susanto, E., Pratiwi, A., Arindita, N.P.Y., Martha, L., Chew, K.W., Show, P.L. (2023). Synthesis, modification and application of fish skin gelatin-based hydrogel as sustainable and versatile bioresource of antidiabetic peptide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 231, 123248. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123248>
- Nelson, L.E., Sheridan, M.A. (2006). Gastroenteropancreatic hormones and metabolism in fish. *General and Comparative Endocrinology*, 148(2), 116-124. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2006.01.011>
- Nirmal, N., Santivarangkna, C., Bekhit, A.E. D.A., Barba, F.J. (2025). Chapter Eight - Purification and identification of bioactive peptide from fish protein hydrolysate. *Fish Protein Hydrolysates. From Production to Food and Nutraceutical Industry Applications*, 197-229. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-21654-1.00008-2>
- Noakes, T.D., Crofts, C., Ben-Dor, M. (2023). Chapter 1 - Understanding human diet, disease, and insulin resistance: scientific and evolutionary perspectives. *Ketogenic The Science of Therapeutic Carbonhydrate Restriction in Human Health*, 3-69. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821617-0.00011-5>
- Pourmadadi, M., Aslani, A., Holghoomi, R., Fathi-Karkan, S., Rahdar, A., Kharaba, Z., Pandey, S. (2024). Harnessing bio-waste for biomedical applications: A new horizon in sustainable healthcare. *European Journal of Medicinal Chemistry Reports*, 12, 100234. <https://doi.org/10.1016/j.ejmcr.2024.100234>
- Quintal-Bojorquez, N., Segura-Campos, M.R. (2020). Bioactive peptides as therapeutic adjuvants for cancer. *Nutr. Cancer*, 1-13.
- Ramakrishnan, S.R., Jeong, C.R., Park, J.W., Cho, S.S., Kim, S.J. (2023). A review on the processing of functional proteins or peptides derived from fish by-products and their industrial applications. *Heliyon*, 9(3), e14188. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14188>
- Sarkar, M.S.I., Hasan, M.M., Hassain, M.S., Khan, M., Islam, A.A., Paul, S.K., Rasul, M.G., Kamal, M. (2023). Exploring fish in a new way: A review on non-food industrial applications of fish. *Heliyon*, 9(12), e22673. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22673>

- Simonson, D.C. (2009). Chapter 25-Insulin Resistance and Diabetes in Chronic Renal Disease. Textbook of Nepro-Endocrinology, 383-409. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373870-7.00025-9>
- Simonson, D.C. (2018). Chapter 14- Insulin Resistance and the Metabolic Syndrome in Chronic Renal Disease. Textbook of Nephro- Endocrinology (Second Edition), 233-258. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803247-3.00015-5>
- Verma, S., Abbas, M., Talwar, A., Anand, S., Nayyar, A., Fatima, F., Zahera, M. (2024). Chapter 12- Potent inflammatory biomarkers in insulin resistance. Biochemical Immunology of Diabetes and Associated Complications, 231-250. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13195-0.00012-0>
- Vidal, N.P., Dermiki, M., Lordan, R. (2023). Chapter 11- Fish-derived functional foods and cardiovascular health: An overview of current developments and advancements. Functional Foods and Their Implications for Health Promotion, 303-316. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823811-0.00002-X>
- Wang, S., Zhang, L., Wang, H., Zhong, B., Hu, Y., Yin, H., Tu, Z. (2024). Review the antioxidant and angiotensin converting enzyme inhibitory peptides derived from fish: Preparation, structure-relationship, bioavailability and ameliorating strategies. Food Bioscience, 62, 104955. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104955>
- Yu, H., Mubango, E., Wu, K., Luo, H., Hong, H. (2024). Unraveling the potential of blue foods: A comprehensive review on the extraction, bioactive properties, and applications of proteins and biopeptides from fish swim bladder. Trend in Food Science & Technology, 144, 104345. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104345>
- Yuan, Z., Ye, X., Hou, Z., Chen, S. (2024). Sustainable utilization of proteins from fish processing by-products: Extraction, biological activities and applications. Trends in Food Science & Technology, 143, 104276. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104276>
- Zhao, Y.Q., Zhang, L., Tao, J., Chi, C.F., Wang, B. (2019). Eight antihypertensive peptides from the protein hydrolysate of Antarctic krill (*Euphausia superba*): Isolation, identification, and activity evaluation on human umbilical vein endothelial cells (HUVECs). Food Research International, 121, 197-204. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.035>
- Zuber, K., Davis, J.S. (2020). A Century of Discovery: The Centennial of Insulin. Physian Assistant Clinics, 5(2), xv-xvii. <https://doi.org/10.1016/j.cpha.2019.11.001>

GIYSILERE ENTEGRE EDİLEN PIEZOELEKTRİK ŞERİT İLE ENERJİ PERFORMANSI VE İNSAN YÜRÜME DAVRANIŞININ ANALİZİ²

Nural MADAK²

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi,
nuralmadak@gmail.com – ORCID 0000-0003-2758-8337

Prof. Dr. Mustafa KURT³

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi,
mustafa.kurt121314@gmail.com- ORCID 0000-0002-5021-992X

ÖZET

Günümüz teknolojisi ve insanların talepleri, yerinde ve kolay erişilebilir enerjiye olan ihtiyaç; her geçen gün artmakta ve bilim insanlarını bireysel yenilikçi enerji kaynaklarını keşfetmeye zorlamaktadır. Bu alandaki araştırmacıların amacı, maliyet ve performans dengesini göz önünde bulundurarak basit ve uygulanabilir sistemleri günlük hayata uyarlamak, kullanılan enerji kaynağının çevre dostu, yenilenebilir ve sürdürülebilir olmasını sağlamaktır.

Günlük giyimde yeni bir konsept olarak akıllı tekstiller, belirli amaçlar için tasarlanmış işlevsel tekstil ürünleridir. Piezoelektrik malzemeler, son on yıllardır akıllı tekstillerin üretiminde sıklıkla tercih edilen bileşenler haline gelmiştir. Piezoelektrik malzemelerin elektrik üretmek için uygulama potansiyeli literatürde, akıllı tekstiller için yaygın olarak araştırılmış olsa da vücut hareket dinamikleriyle ilişkili çalışmalar henüz gerçek anlamda incelenmemiştir.

Bu çalışmada, bir şerit piezoelektrik malzeme bir pantolon üzerine monte edildi ve piezoelektrik malzeme tarafından üretilen elektrik sinyalleri, farklı yürüme desenlerine sahip bacak hareketlerine göre incelendi. Bu hareketler, her adımda değişen genliklere sahip karmaşık sinüzoidal dalgalar olarak görünür. Yürüme sırasında ölçülen bu dalgaların genliği, piezoelektrik malzemedan elde edilen potansiyel farkını gösterir ancak etkiyi tam olarak karakterize etmek için yeterli değildir. Bu nedenle, FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü) yöntemi kullanılarak ölçülen sinyaller zaman alanından frekans alanına dönüştürüldü ve hareket sırasında sinyal genliğini etkileyen gürültü gibi dış etkiler, uygun filtreleme teknikleri kullanılarak analizden çıkarıldı.

Sonuçlar sıradan yürüyüşle vücut hareketlerinin farklı bireyler için 6-10 V aralığında bir elektrik potansiyeli üretebileceğini göstermektedir. Bu voltaj seviyesi bir akıllı telefon pilini şarj etmek için yeterli olduğundan, piezoelektrik malzemeler içeren akıllı giysiler kullanılırsa, bireylerin düşük voltajlı elektronik cihazlarına hareketleri yoluyla güç sağlayabilecekleri önerilebilir. Ayrıca, çeşitli yürüme desenleri için FFT analizlerinin frekans spektrumunda

² 1-Bu çalışma Nural MADAK'ın, Prof. Dr. Mustafa KURT danışmanlığında hazırladığı 'Kıyafetlere Uygulanan Piezo Liflerin Elektrik Üretim Performans Analizi' adlı yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

2-ÇOMÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Öğrencisi

3-ÇOMÜ, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Müh. Bölümü

önemli farklılıklar da gözlemlendi. Frekans spektrumunun incelenmesi ile vücuttaki bazı kusurlar tespit edilebilir.

Anahtar Kelimeler : 1-Piezo Şerit 2- Akıllı Tekstil 3-Yenilenebilir Enerji 4-FFT

ANALYSIS OF ENERGY PERFORMANCE AND HUMAN WALKING BEHAVIOR BY STRIP PIEZOELECTRIC INTEGRATED ON CLOTHING¹

Nural MADAK²

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi,
nuralmadak@gmail.com - ORCID 0000-0003-2758-8337

Prof. Dr. Mustafa KURT³

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi,
mustafa.kurt121314@gmail.com - ORCID 0000-0002-5021-992X

ABSTRACT

Current technology and people's demands, the need for on-site and easily accessible energy is increasing day by day, forcing scientists to explore individual innovative energy sources. The aim of researchers in this field is to adapt simple and applicable systems to daily life while considering the balance of cost and performance, ensuring that the energy source used is environmentally friendly, renewable, and sustainable.

Smart textiles as a new concept in daily clothing are functional textile products designed for specific purposes. Piezoelectric materials have become the frequently preferred components in the production of smart textiles for the last decades. While the application potential of piezoelectric materials to generate electricity has been widely investigated for smart textiles in the literature, studies correlating with body motion dynamics are not studied truly yet.

In this study, a strip piezoelectric material was mounted on a pair of pants, and the electrical signals generated by the piezoelectric material were examined based on leg movements with different walking patterns. These movements appear as complex sinusoidal waves with varying amplitudes during each step. The amplitude of these waves, measured during walking, indicates the potential difference obtained from the piezoelectric material but is insufficient to fully characterize the effect. Therefore, signals measured using the FFT (Fast Fourier Transform) method were converted from the time domain to the frequency domain, and external effects such as noise, which influence signal amplitude during movement, were excluded from the analysis using appropriate filtering techniques.

The results show that body movements with ordinary walking could generate an electrical potential in the range of 6-10 V for different individuals. Since this voltage level is sufficient to charge a smartphone battery, it can be suggested that if smart clothing incorporating piezoelectric materials are used, individuals could power their low-voltage electronic devices through their movements. Furthermore, significant differences in the frequency spectrum of FFT analyzes were also observed for various walking patterns. By analyzing the frequency spectrum, some body defects can be detected.

Keywords:1-Piezoelectric Strip, 2-Smart Textile, 3-Renewable Energy, 4-FFT

1. GİRİŞ

Dünyada çoğu enerji kaynağının sınırlı ve belirli bölgelerde yoğunlaşması ülkeleri yeni enerji kaynakları bulma arayışına sürüklemekle birlikte, bulunan enerji kaynaklarının da yenilebilir ve sürdürülebilir olması amaçlanmaktadır. Dünya geneline bakıldığında artan teknoloji ile birlikte en çok kullanılan ve ihtiyaç duyulan enerji türlerinden birinin elektrik enerjisi olduğu görülmekte ve bu ihtiyacı karşılamak için son yıllarda kullanımı artan rüzgâr, güneş, jeotermal gibi enerji kaynaklarının yanı sıra farklı alternatifler de değerlendirilmekte ve geliştirilmektedir.

Bu hedefte araştırmalarda bulunan bilim insanları son 20-30 yıldır piezo malzemeler ile elektrik enerjisi üretme konusunda çeşitli çalışmalar yapmaktadırlar. Piezoelektrik özellik, malzemenin mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirme veya tam tersi etki ile elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirme yeteneğidir (Çalapkulu: 2024). Yapılan ve/veya yapılması önerilen bu tip çalışmalarda öne çıkan denemelerden birisi de piezo malzemeler ile geliştirilen akıllı tekstil ürünleridir.

Belli bir amaç için üretilen, estetik özelliklerinden öte fonksiyonları ile ön planda olan tekstil ürünleri, teknik tekstiller adını almaktadır (Mecit ve arkadaşları 2007: 76). Akıllı tekstiller ise teknik tekstillerin elektronik ve bilişimsel özellikler katılarak daha da geliştirilmiş çeşididir.

Akıllı tekstiller tekstil materyalinin yapısına ilave edilen işlevsellikler ile çevredeki uyarıları algılayabilir, onlara tepki verebilir ve uyum sağlayabilir yapıda imal edilebilirler. Bu uyarılar kimyasal, elektriksel, manyetik, termal ya da farklı bir kökene bağlı olabilir (Langenhove, Puers & Matthys, 2005:176). Akıllı tekstiller etkiyi algılama ve tepki verebilme özelliklerine göre sınıflandırıldıklarında üç gruba ayrılırlar. Eğer sadece etkiyi algılıyorsa *pasif akıllı tekstil*, etkiye karşılık tepki verebiliyorsa *aktif akıllı tekstil*, tepkiyi vermenin yanında çevreye uyum sağlıyorsa ultra akıllı tekstil adını almaktadır. Örneğin bir giysideki sensör kalp atış hızını izliyor ve kaydediyorsa pasif, bu izleme sonunda belirlenen bir değerde ikaz veriyorsa aktif akıllı tekstil ürünüdür veya bir termal giysi ısının artış ve azalışına göre renk değiştirip ortamın sıcaklığına uyuyorsa *ultra akıllı tekstil* malzemesidir (<https://tekstilst.com/>, 2024).

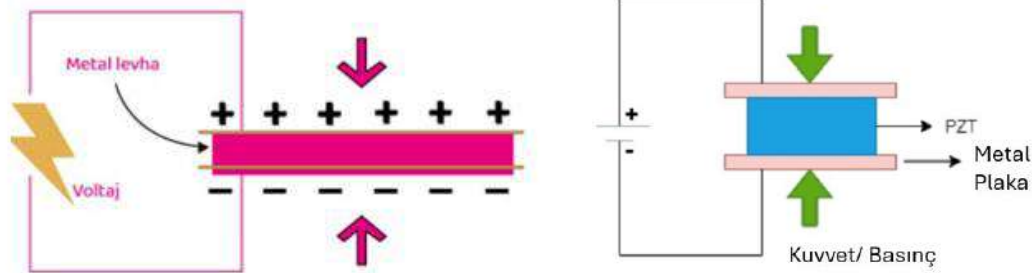
Akıllı tekstiller üretim tekniklerine/elde edilme yöntemlerine göre de sınıflandırılabilirler. Bu tip sınıflandırma dört grupta toplanabilir. Birinci grup *faz değiştiren materyellerle elde edilmiş ürünler* olan kişileri sıcak soğuk etkilerinden, yüksek voltaj, nükleer radyasyon, zehirli kimyasallardan koruyan, özel spor dalları ile askeri ve güvenlik mensupları için üretilen giysilerdir. İkinci grup *bilişimsel hafızalı materyallerden elde edilen akıllı tekstiller* olup bunlar farklı çevre şartlarında o an buldukları formdan, önceden belirlenmiş olan eski hallerine dönebilmektedirler. Bir diğer grup *kromik materyallerden elde edilen akıllı tekstillerdir* ve

bunlar ısı, ışık, basınç, elektrik, kimyasal vb. çevresel etkilerle renk değiştiren tekstil materyalleridir. Dördüncü grup ise *elektronik/iletken tekstillerden, elyaflardan elde edilen akıllı tekstil* malzemeleridir. Bu tip malzeme ve giysiler tekstil elyafının iletken ve yalıtkan yapıda olmasından yararlanarak veya bazı iletken tellerin giysi ve ürünlere monte edilmesiyle üretilebilmektedir (Coşkun ve Oğulata, 2008: 101-105)

Elektronik ve iletken yapılu akıllı tekstil ürünlerinin üretiminde kullanılan malzemelerden birisi de piezo malzemelerdir. Piezo malzemeler, üzerlerine uygulanan kuvvet ve basınç etkisiyle atomik yapılarında kutuplaşma meydana gelen yarı iletken malzemelerdir.

Piezo malzemeler genellikle seramik, turmalin, kuartz (SiO_2), baryum titanat (BaTiO_3) kurşun-zirkonyum-titanyum (PZT) yapılıdır ve mikrafon, pikap, gemilerin sonar cihazlarında, radyo vericilerinde, elektrik üretimindeki rotor sargılarının sarım metalllerinde, asfalt yollarda basınca bağlı elektrik üretiminde ve benzeri birçok alanda kullanılmaktadır (Atar, F. 2023).

Piezoelektrik malzemeler, maddenin kristal yapısının bozulması sonucu ortaya çıkan bir formdur ve uygulanan kuvvet veya basınç sonucu kristal simetri yapısı bozulan malzemede pozitif yükler bir kutupta negatif yükler bir kutupta toplanır (görsel 1-2). Böylece malzemede bir gerilim oluşur ve malzeme çevresinde elektriksel alan meydana gelir (Çalapkulu: 2024).



Görsel 1-2: Piezoelektrik malzemenin gerilim üretme prensibi (kaynak: Çalapkulu: 2024; <https://www.alteksan.com/piezoelektrik-nedir-ve-ornekleri/> : 2024)

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1.Çalışmada Kullanılan Yöntem ve Malzemeler

Araştırmamızda standart bir kot pantolona ön cep hizasından paça bitiminin 10-12 cm üstüne kadar uzanan 80 cm civarında ve özellikleri çizelge 1’de yer alan Farnell firmasından temin edilen bir piezo şerit monte edildi.

Çizelge 1: Kullanılan piezo şeritin özellikleri ve hareketlerdeki yanıt verme değerleri (kaynak: <https://www.farnell.com/datasheets/2921323.pdf>)

Parametre	Min.	Tip	Mak.	Birim/
Tüm Uzunluk	797.5	800.0	802.5	mm, (lehim tırnakları hariç)
Tüm Genişlik	7.7	8.0	8.3	mm
Aktif Elektrot uzunluğu	691.5	698.5	701.0	mm
Aktif Elektrot genişliği	2.7	3.0	3.3	mm
Kapasitans	5.4	7.3	9.3	nF@1k Hz
Dağılma Faktörü	-	0.02	0.03	@1k Hz
Gerilim Hassasiyeti (V)	-	0.015	-	V/με
Gerilim Hassasiyeti (Q)	-	110	-	pC/με
Temel Film Kalınlığı	27	30	33	μm
Akma Gerilimi	45	-	-	MPa (uzatma yönü)

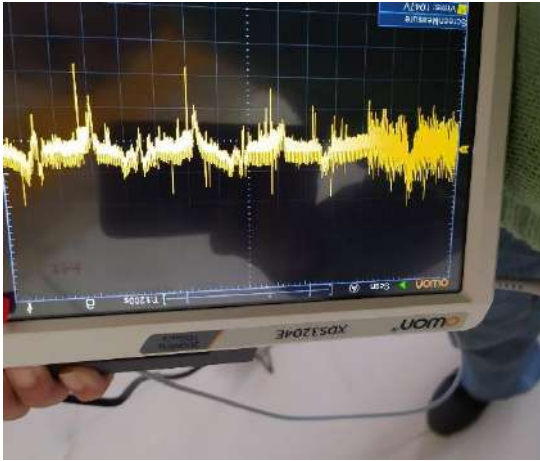
0.1 Hz data	Q p-p	V p-p OC
Nabız	0.5-1 nC	75-150 mV
Nefes Alıp Verme (Solunum)	2-7 nC	0.3-1 V
Hareket	100-500 nC	10-70 V

Daha sonra osiloskop probu, piezo şeritin iletken uçlarına bağlanarak osiloskop vasıtasıyla yürüme ve koşma anında farklı kişilerin oluşturduğu gerilimler ölçüldü. Probun ekstra piezo üzerinde titreşim yapmasını önlemek için pantolon kemerine sabitlenme yapıldı (görsel 3).



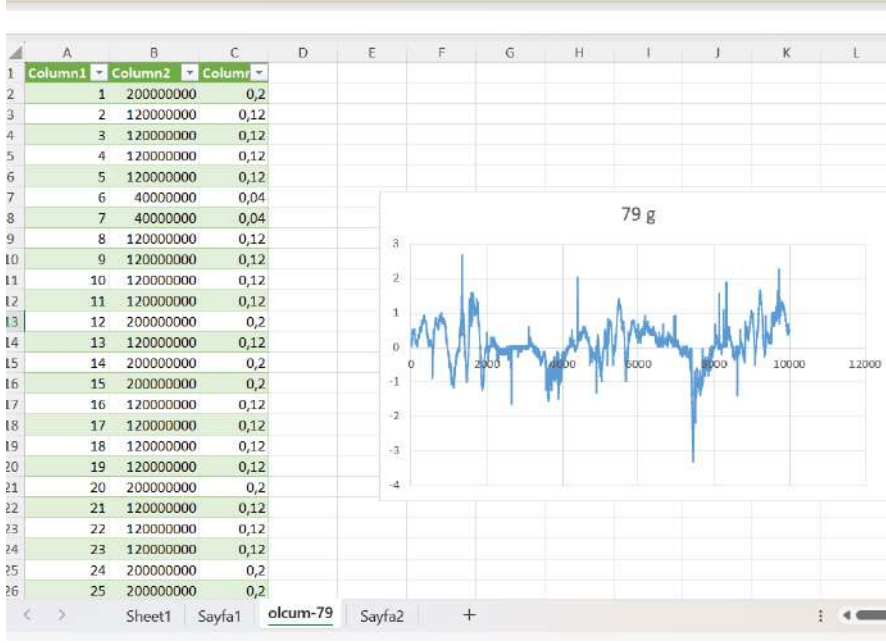
Görsel 3: Deneyde kullanılan pantolon, piezo şerit ve prob

Osiloskoptan alınan gerilim kayıtları (osiloskopun kayıt gücüne bağlı olarak) maksimum 10 sn olarak ölçülmüş ve kişilerin yürüme ve koşma modlarında 50 ölçüm yapılmıştır (görsel 4).



Görsel 4:Hareketlerin osiloskop ölçümleri

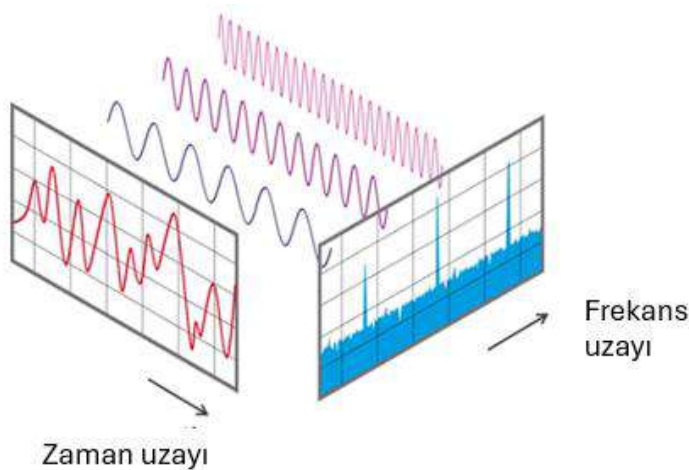
Osiloskop kayıtlarında 10000 frekans aralığına (hertz) bölünen, kişilere ait bu gerilim verileri, önce Excell programı ile görsel 5’de yer alan grafik biçimine getirilerek grafiklerin içinden en az gürültü karışan ve en az uç değer gösteren (yürüme ve koşma anında 10 sn boyunca en stabil hareketli olan) veriler Orijin programında FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü) yöntemi ile analiz edilmiştir.



Görsel 5:10 sn'lik hareket kayıtlarının grafiksel dönüşümleri

2.2. FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü)

FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü), zaman uzayındaki bir sinyali frekans uzayına çeviren bir matematiksel fonksiyon olup Ters Fourier Dönüşümünde ise frekans uzayındaki sinyaller zaman uzayına çevrilmektedir. Fourier dönüşümünde kompleks üstel bileşik bir dalga sinyali, tek tek frekans bileşenlerine ayrılır ve o şekilde görselleştirilir (görsel 6) (Küçük, 2019). Genliği sabit bir sinyal, frekans uzayında dikey çizgi biçiminde gösterilir.



Görsel 6: Zaman uzayı ve frekans uzayında bir sinyalin gösterimi

Bir tam dalga'nın zaman uzayında oluşma süresi periyot (T), saniyedeki gösterimi frekans yani (1/T) ile ifade edilir. Diğer bir ifadeyle frekans belli bir sürede (genellikle 1 saniye) herhangi bir şeyin yenilenme sıklığıdır. Bu tekrarlanma sayısı ne kadar yüksek ise frekans o kadar yüksek değer alır. Frekans hem pozitif hem negatif değerde gösterilir. Birimi Hertz (Hz)'dir. Sinyalin saniyedeki her tekrarı 1 Hertz demektir <https://www.netes.com.tr/blog/frekans-nedir?>, 2024).

2.2.1.FFT'de Faz (Phase), Genlik (Amplitude) ve RMS Değeri

Faz, genlik değerinin yatay eksen ile yapmış olduğu açığı ifade eder. Sinozodial bir sinyalin her hertz'de sahip olduğu açı dereceleri birleştirilerek faz grafiği elde edilir ve böylece sürekli aynı modda çalışan makine veya bir canlı'nın hareketindeki sapmalar ve anomaliler belirlenebilir.

Genlik (Amplitude) ise bir sinyalin pozitif ve negatif tepe (peak) değerleri arasındaki dikey uzaklığı belirtir. Genlik değeri oluşan gerilimin büyüklüğü hakkında bilgi verir.

RMS değeri, herhangi bir sinyalin ortalama genlik değerini ifade eder. RMS ve tepe değerleri arasında eşitlik 1'deki ilişki bulunur (Gjelstrup: 2023).

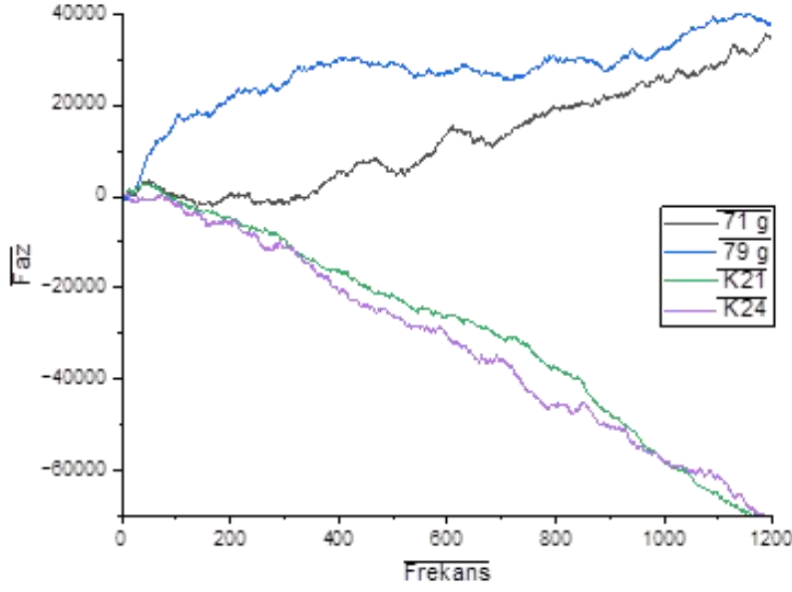
$$rms=1/\sqrt{2} \text{ peak} \quad (1)$$

2.3.Çalışmada Elde Edilen FFT Analizleri

Çalışmada iki kişinin yürüme ve koşma hareketlerinden elde edilen gerilim değerlerinin FFT analizleri aşağıdaki gibidir.

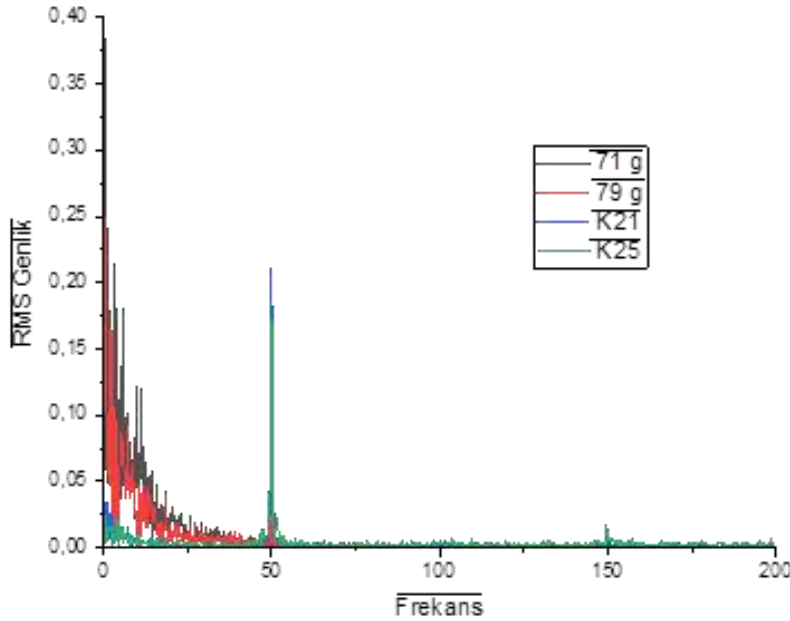
2.3.1. İki Kişinin Yürüyüş Analizleri –Faz-RMS ve RMS Farkı

Grafik 1'de iki kişinin rutin iki farklı yürüyüşlerindeki gerilimin faz değeri yer almaktadır. (1. kişi 71g, 79g; ikinci kişi k21 ve k24) Elde edilen faz değerlerinde kişilerin yürüyüşlerindeki adımlama ve hız, farklı olmasına rağmen aynı kişinin farklı yürüyüşlerindeki adımlama ve yürüyüş hızı benzerlik göstermektedir.



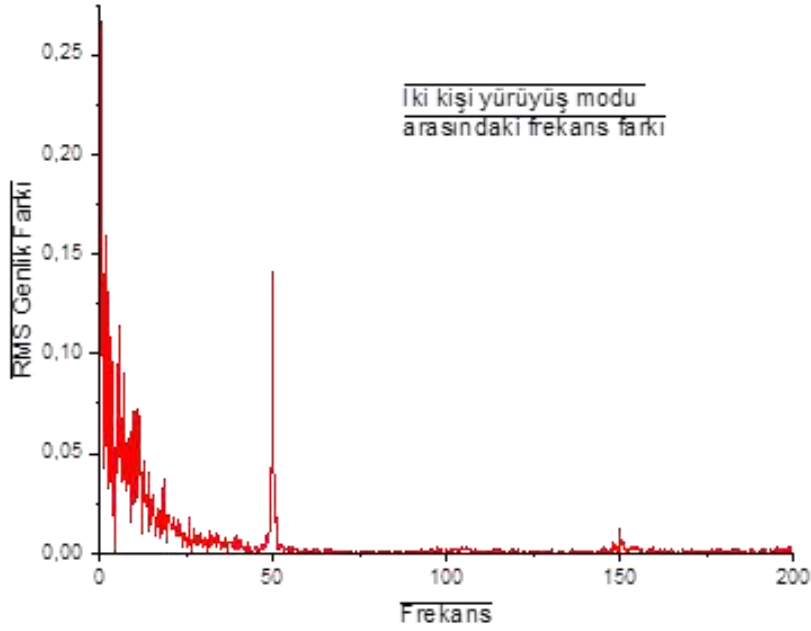
Grafik 1: Kişilerin farklı yürüme hareketlerinin faz diyagramı

Grafik 2’de, iki kişinin toplam 4 yürüyüşü için RMS değerleri yer almaktadır. Grafikten 50Hz frekansta RMS genlik değerinin 2.kişi için maksimum olduğu ancak 1. ve 2. kişinin hareket (bacak salınımları) arasında ciddi bir farklılık bulunduğu izlenmektedir. 2. kişinin (k21 ve k25) yürüyüş hareketinin daha harmonik ve düzgün olduğu fakat 50 hz’de -muhtemelen yere basma anında çok sert bir şekilde zeminle temas edip- aşırı titreşim oluşturduğu görülmektedir.



Grafik 2: İki kişinin farklı yürüyüşlerindeki RMS değerleri

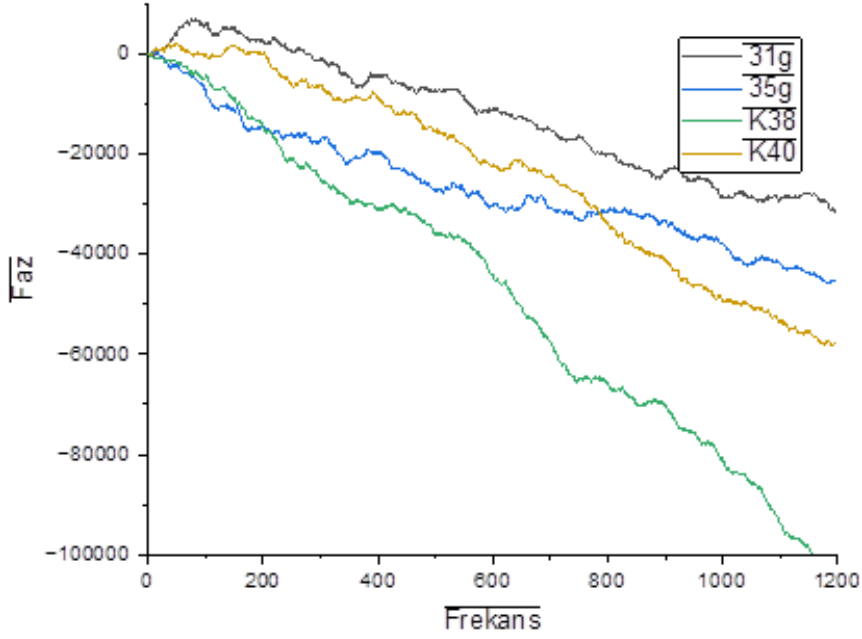
Aşağıdaki grafik 3'te iki kişinin toplam 4 yürüyüşündeki RMS genlik farkı yer almaktadır. Grafiğin dağınık yayılım göstermesi kişilerin yürüyüş modlarının oldukça farklı olduğunu belirtmektedir.



Grafik 3: İki kişinin farklı yürüyüşlerindeki RMS değeri farkı

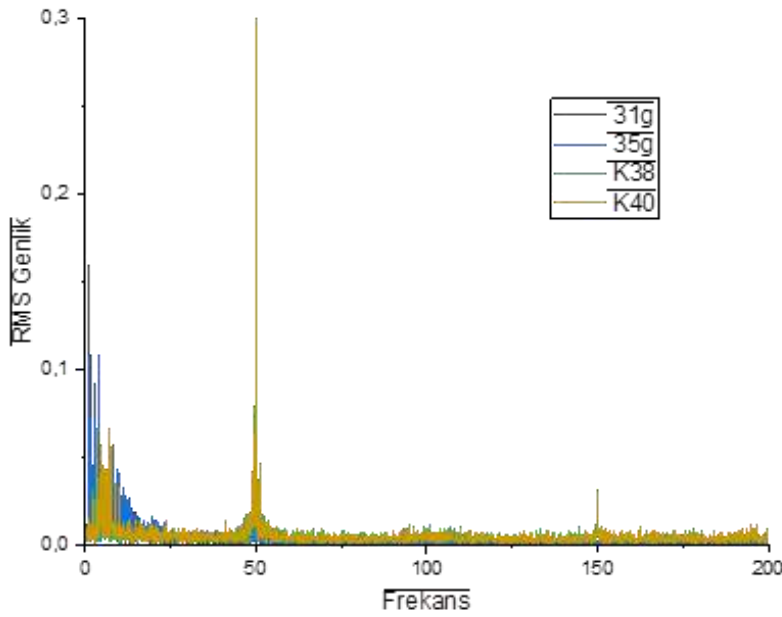
2.3.2. İki Kişinin Koşu Analizleri –Faz-RMS ve RMS Farkı

Kişilerin koşu hareketine ilişkin grafikler aşağıdaki gibi çıkmıştır. Grafik 4'teki iki kişinin farklı koşu analizlerindeki faz değerleri incelendiğinde, farklı kişilerin faz değerlerinin paralellik ve aynı kişinin faz değerlerinin yine benzer bir dağılım gösterdiği görülmektedir. (1. kişi 31g, 35g; ikinci kişi k38 ve k40)



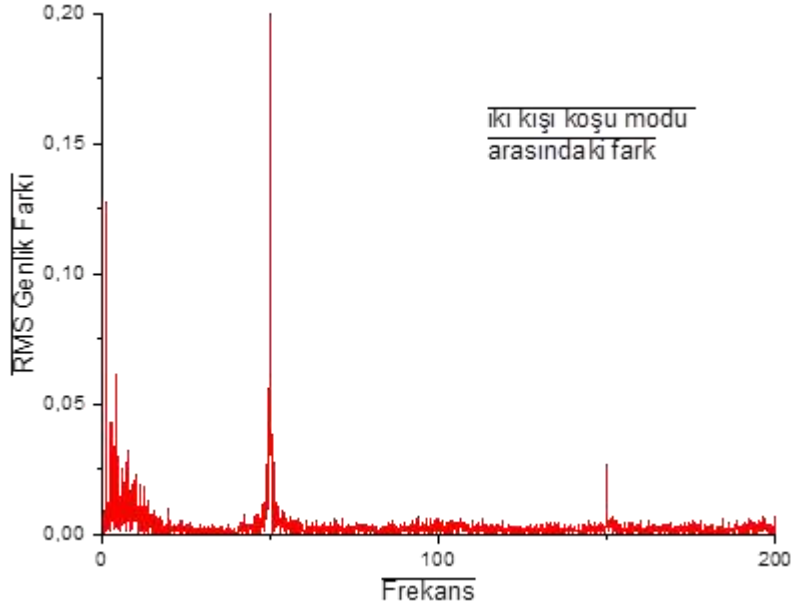
Grafik 4: İki kişinin farklı koşullarındaki faz değerleri

Aşağıdaki 5. grafikte iki kişinin toplam 4 koşusu için RMS değerleri yer almaktadır. Ortalama genlik değerlerinin yürüyüş de olduğu gibi farklılık gösterdiği 2. kişinin 50 hz'de aşırı titreşim oluşturduğu aynı zamanda 0-25hz aralığında 1.kişiye yaklaştığı görülmektedir.



Grafik 5: İki kişinin farklı koşullarındaki RMS değerleri

Grafik 6'da ise kişilerin toplam 4 koşudaki RMS genlik farkında 0-25hz'ye yakın frekans değerlerinde (1. ve 2. kişinin değerlerinin yoğun bulunduğu) ve 50hz frekans değerlerinde (2. kişinin değerlerinin yoğun bulunduğu) kümeleştiği ve arttığı görülmektedir.



Grafik 6: İki kişinin farklı koşularındaki RMS değeri farkı

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan araştırma sonucundaki FFT analizlerinde;

*Farklı kişiler için yürüyüş formlarında elde edilen gerilim değerlerinde faz ve RMS değeri grafiklerinin farklı, koşu formundaki faz değerleri grafiklerinin paralel ancak RMS grafiği değerlerinin farklı olduğu görülmektedir. Aynı kişinin her iki yürüyüş veya her iki koşu formunda ise benzer grafikler elde edilmiştir. Yani her kişinin yürüyüş ve koşu formu şahsına münhasır olup kişiler arasındaki adımlama veya hareket koşu formunda birbirine yaklaşmaktadır.

*2. yürüyen kişinin analiz değerlerinde RMS değerinin 50Hz, 1. yürüyen kişinin RMS değerinin 0-25 Hz değerlerinde yüksek olduğu görülmüştür. 2. Kişinin daha ritmik ve harmonik bir yürüme yaptığı 1. kişinin daha salınarak yürüdüğü bilinmekte olup bu farklı stiller sonuçlarla da kanıtlanmıştır.

*Koşu formunda, kişilerin faz değeri grafikleri azalan bir eğime sahipken her bir kişinin koşma formu grafiği kendi içinde daha benzer ve paraleldir. Bu sonuçtan koşu halinde herkes için benzer kas gruplarının benzer titreşime neden olduğu çıkarılabilir.

*Ritmik yürüyen kişide yürüme faz değerleri koşu formundaki faz değerleriyle benzerlik göstermektedir. Çünkü aslında koşu ritmik yürümenin daha hızlı bir versiyonudur.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yaptığımız araştırmanın sonuç verileri değerlendirildiğinde; Piezoelektrik malzeme kullanılarak tasarlanan bir kıyafet ile kişilerin günlük hareketleri sayesinde kayda değer bir gerilim elde edildiği görülmüştür. Ölçülen bu gerilim değerleri 6-10 V değer aralığında yer almaktadır. Günlük hayatta bu tip bir giysi vasıtasıyla, ölçülen gerilim değerleri takip edilerek, kişilerin rutin hareketlerindeki farklılıklar gözlenebilir ve böylece hem sağlıklı hem de yaşlı, hasta veya engelli bireylerin değerleri tıpkı bir EKG ölçümü gibi değerlendirilerek rahatsızlık ve anomaliler saptanabilir ihtiyacı olan kişilerin yardımına aciliyetle ulaşılabilir. Bunun yanında doktorlar ve/veya bireyler hareketlerini analiz eden bir sistemle; kişinin ortopedik olarak yaptığı hataları (çok hızlı yürüme, sert basma vb.) veya kazaları (çarpma vb.) yorumlayıp, tespit edebilir.

Elde edilen gerilim değerlerinin depolamasının yapılması durumunda ise bu gerilim ile kullanılan sensörlere kaynak sağlanabilir kişiler bunun için yedek pil, güç kaynağı olmadan tamamen rutin hareketleri ile şarj işlemini gerçekleştirebilir.

KAYNAKÇA

1. Atar, F.(2023). Piezoelektrik Malzemeler ve Uygulama Alanları.
<https://www.ceyrekmuhendis.com/piezoelektrik-malzemeler-ve-uygulama-alanlari> (Erişim tarihi: 21.10.2024)
2. Coşkun E. ve Oğulata R. T. Akıllı Tekstiller Ve Genel Özellikleri, Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları, 18,3, 2008. ss 100-109
3. Çalapkulu, S. (2024). Piezoelektrik. <https://www.sektorumdergisi.com/piezoelektrik/> (Erişim tarihi: 21.12.2024)
4. Gjelstrup, S. L. (2023). FFT Analizi (Hızlı Fourier Dönüşümü): Frekans Analizine İlişkin Nihai Kılavuz. <https://dewesoft.com/blog/guide-to-fft-analysis> (Erişim Tarihi: 25.09.2024)
5. <https://tekstilst.com/akilli-tekstiller-nedir-ve-uygulama-ornekleri-nelerdir/> (Erişim tarihi: 22.12.2024)
6. <https://www.alteksan.com/piezoelektrik-nedir-ve-ornekleri/> (Erişim Tarihi: 15.09.2024)
7. <https://www.farnell.com/datasheets/2921323.pdf> (Erişim tarihi: 22.08.2024)
8. <https://www.netes.com.tr/blog/frekans-nedir?> (Erişim tarihi: 22.12.2024)
9. Küçük, M. A. (2019). Fourier Dönüşümü ve Frekans Uzayı.
<https://www.mehmetalikucuk.com/elektrik-elektronik/fourier-donusumu-ve-frekans-uzayi/> (Erişim tarihi: 20.12.2024)
10. Mecit, D., Ilgaz, S., Duran, D., Başal, G., Gülümser, T. ve Tarakçıoğlu, I. “Teknik Tekstillerin Kullanım Alanları 1. Bölüm” Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi, 3,2, 2007. ss 79-82.
11. Van Langenhove, L., Puers, R., & Matthys, D. “Intelligent Textiles For Protection.” Textiles For Protection, Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute, 2005, pp. 176–95.

DİJİTAL DÖNÜŞÜM ÇAĞINDA TEKSTİLVE MODA SEKTÖRÜNDE YAPAY ZEKA UYGULAMALARI

Nejla ÇEVEN

Vanelli Tekstil San. ve Tic.A.Ş., Organize Sanayi Bölgesi, Nilüfer, Bursa, Türkiye,
nejla@vanellitextile.com, 0009-0004-4926-8881

Doç.Dr. Gizem KARAKAN GÜNAYDIN

Pamukkale Üniversitesi, Mimarlık Tasarım Fakültesi, Tekstil ve Moda Tasarımı Bölümü,
Denizli,Türkiye
ggunaydin@pau.edu.tr - 0000-0001-9164-3391

Prof. Dr. Erhan KENAN ÇEVEN

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü,
Nilüfer,Bursa
rceven@uludag.edu.tr, 0000-0003-3283-4117

ÖZET

Dijital dönüşüm çağında, tekstil ve moda sektörü, yapay zeka (YZ) teknolojilerinin hızla benimsenmesiyle önemli bir dönüşüm yaşamaktadır. Yapay zeka, tasarım süreçlerinden tedarik zinciri yönetimine, üretimden satış ve pazarlamaya kadar sektöre birçok alanda yenilikçi çözümler sunmaktadır. Yapay zeka tabanlı algoritmalar, tüketici verilerini analiz ederek kişiselleştirilmiş tasarımlar ve öneriler sunmakta, böylece müşteri deneyimini iyileştirmektedir. Otomasyon teknolojileriyle desteklenen üretim süreçleri, hataları minimize ederek verimliliği artırmakta ve maliyetleri düşürmektedir. Tedarik zincirinde ise YZ, stok yönetiminde optimizasyon, lojistik süreçlerinde hızlanma ve kaynak israfını önleme gibi avantajlar sağlamaktadır. Moda sektörü, yapay zeka ile trend analizlerini daha hızlı ve doğru bir şekilde yapabilmekte, sosyal medya ve diğer dijital platformlardaki verileri kullanarak yeni tasarım fikirleri geliştirmektedir. Sanal giyinme odaları ve artırılmış gerçeklik uygulamaları, tüketicilere çevrimiçi alışveriş deneyiminde gerçekçi bir ürün deneme imkânı sunmaktadır.

Ayrıca, yapay zeka sürdürülebilirlik hedeflerine de katkı sağlamaktadır. Döngüsel ekonomi modellerinin benimsenmesinde, atık yönetimi ve geri dönüştürülmüş materyallerin kullanımına yönelik süreçler, YZ destekli analizlerle daha etkin bir şekilde planlanabilmektedir. Sonuç olarak, yapay zeka, tekstil ve moda sektöründe inovasyonu teşvik eden, üretkenliği artıran ve sürdürülebilirliği destekleyen bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Dijital dönüşüm süreci, bu sektörlerin rekabet gücünü artırırken, tüketicilere daha etkili ve kişiselleştirilmiş hizmetler sunulmasını sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tekstil ve moda , dijital dönüşüm, yapay zeka

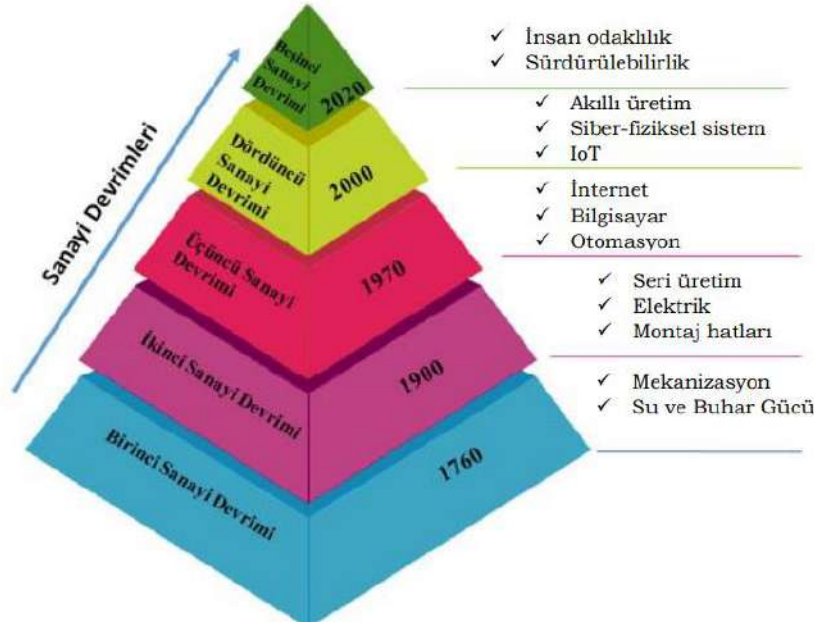
1. GİRİŞ

Devrimler, tarih boyunca toplumlar için önemli dönüm noktaları olmuştur. Bu radikal ve dönüştürücü süreçler, bir toplumun, bölgenin veya ulusun yapısında büyük değişimlere yol açarak, endüstri ve iş dünyasını yeniden şekillendiren hareketler olarak değerlendirilmektedir [1]. Özellikle sanayi devrimleri, insanlık tarihindeki en kritik kilometre taşlarından biri olarak kabul edilmektedir. Bu devrimler, genellikle bilimsel ve teknolojik paradigmalardan dönüşümünü temel almakta ve insan emeğini içeren süreçlere dayanmaktadır [2]. Sanayi devrimlerinin başlangıcı, 18. yüzyılın ortalarında buhar gücünün kullanıma girmesiyle gerçekleşmiştir. Bu gelişme, tarım ve feodal toplumlardan sanayi ve kapitalist toplumlara, oradan da sanayi ve hizmet toplumlarına geçişi mümkün kılmıştır [3].

Sanayi devrimlerinin bu dönemleri, yalnızca teknolojik ilerlemeleri değil, aynı zamanda toplumsal, ekonomik ve kültürel dönüşümleri de beraberinde getirerek insanlık tarihinde köklü değişimlere öncülük etmiştir. Bu devrimler, geleneksel yöntemlerin sınırlarına ulaşıldığında, düşük maliyetli ve yüksek kaliteli üretim için yeni teknolojilerin ve yöntemlerin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. İnsanlık tarihindeki teknolojik evrim, beş temel sanayi devrimiyle şekillenmiştir: Birinci, İkinci, Üçüncü, Dördüncü ve Beşinci Sanayi Devrimi (Görsel 1).

Birinci Sanayi Devrimi buhar gücüyle çalışan makinelerin ortaya çıkışıyla tanımlanırken, İkinci Sanayi Devrimi elektrik kullanımının yaygınlaşmasıyla öne çıkmıştır. Bilgisayar teknolojilerinin ve dijital sistemlerin gelişimi ise toplumu Üçüncü Sanayi Devrimi'ne taşımıştır. Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0), siber-fiziksel sistemlerin ve gerçek zamanlı teknolojilerin uygulanmasıyla tanınmaktadır. Günümüzde ise Beşinci Sanayi Devrimi'ne tanıklık edilmektedir. Bu yeni çağ, yapay zekâ, nesnelerin interneti, biyoteknoloji ve uzay

teknolojileri gibi hızlı gelişmelerle şekillenmekte, toplumsal, ekonomik ve teknolojik düzeylerde derin etkiler yaratma potansiyeli taşımaktadır.



Görsel 1. Sanayi Devrimlerinin gelişim süreci [4]

2. YAPAY ZEKA VE MODA ENDÜSTRİSİ

Moda sektörü, temel olarak giysi ve aksesuar üretimine dayalı bir endüstri olarak tanımlansa da, bu tanım moda ile giysi arasındaki farkları tam anlamıyla açıklamaktan uzaktır. Bir giysinin moda unsuru haline gelmesi, yalnızca tasarım ve üretim süreçlerinin sonucu değildir; bu süreç, aynı zamanda pazarlama ve satış stratejileriyle de biçimlenmektedir. Moda endüstrisi, hammaddelerin tedarik edilmesinden giysi üretimine, bu ürünlerin dağıtımından nihai tüketiciye ulaşmasına kadar uzanan karmaşık ve çok katmanlı bir tedarik zincirine sahiptir. Bu zincir, üretim, tasarım, yönetim ve iletişim sistemlerinin etkinliğiyle sürekliliğini korumaktadır. Diğer üretim sektörlerinden farklı olarak, moda endüstrisi; tasarımcılar, mağaza sahipleri, fabrika işçileri, terzi, zanaatkarlar, medya çalışanları, reklamcılar, toptancılar ve perakendeciler gibi pek çok paydaşı bir araya getiren dinamik bir yapıya sahiptir. Ayrıca, pazarlama, tanıtım, moda şovları, modelistlik, desinatörlük ve tüketiciler de bu yapının ayrılmaz parçalarıdır. Bu bağlamda, moda tasarımcılarının yalnızca giysi tasarlama yeteneğine

değil, aynı zamanda tasarımlarını değişen koşullara uyarlayabilme becerisine de sahip olmaları gerekmektedir.

Schwab (2017), yapay zekânın hayatımızı dönüştüren yeniliklerle çevremizi nasıl sardığını açıklarken, bu teknolojinin sürücüsüz araçlardan sanal asistanlara, çeviri yazılımlarından drone teknolojisine kadar geniş bir yelpazede etkili olduğunu belirtmiştir. Yapay zekâ; bilgi işlem kapasitesindeki hızlı artış ve veri erişiminin genişlemesi sayesinde, yeni ilaçların geliştirilmesinden bireylerin ilgi alanlarını tahmin eden algoritmalara kadar çeşitli alanlarda etkisini göstermektedir. Gelecekte yapay zekânın getireceği değişimlerin boyutları, günümüzün en önemli tartışma konularından biri olmaya devam etmektedir [5]. Luce (2018), *Artificial Intelligence for Fashion* adlı eserinde, yapay zekânın moda endüstrisindeki kullanımına dair çeşitli örnekler sunmuştur. Bu uygulamalar, alışveriş ve ürün keşfi, satış, tasarım ve tedarik zinciri olmak üzere dört ana başlık altında incelenmiştir. Tedarik zinciri bağlamında dikkat çeken bir örnek, Badgley-Mischka markası tarafından geliştirilen mobil uygulamadır. Bu uygulama, 2018 yılında New York Moda Haftası'nda tanıtılmış olup, yalnızca iPhone ve iPad kullanıcılarına sunulmuştur. Katılımcılar, podyumda sergilenen koleksiyonlara “beğendim (like)” veya “sevdim (love)” seçenekleriyle geri bildirimde bulunabilmiştir [6]. Bu uygulama aracılığıyla toplanan anlık veriler, markanın gelecekteki tasarım ve üretim kararlarına yön vermek amacıyla analiz edilmiştir. Bu tür uygulamalar, üretim planlamasında daha doğru bir yaklaşım benimsenmesini sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda gereksiz stokların önüne geçilmesi gibi önemli avantajlar da sunmaktadır. Toplanan veriler sayesinde, trend tahmini yapılabilir, maliyetler optimize edilebilir ve sürdürülebilirlik hedeflerine daha kolay ulaşılabilir. Elaine Stone'a göre, moda sistemi dört temel düzeyde analiz edilebilir: temel pazarlar, ikincil pazarlar, dağıtım düzeyi ve yardımcı düzey. Temel pazarlar, lif, iplik ve kumaş gibi hammaddelerin üretimini kapsarken; ikincil pazarlar tasarım, koleksiyon geliştirme, giysi üretimi ve dağıtım süreçlerini içerir. Üçüncü düzey, perakende ve toptan satış alanlarını, yani butikler, mağazalar ve e-ticaret platformlarını kapsar. Yardımcı düzey ise medya ve danışmanlık gibi iletişim araçlarını içererek, tüketicilerin moda ürünlerinden haberdar olmasını sağlar [7,8]. Moda sektörünün başarısı, yalnızca bir bileşenin performansına değil, tüm bileşenlerin uyum içinde çalışmasına bağlıdır.

Özellikle teknolojik gelişmeler, moda ürünlerinin tüketiciye ulaşma biçiminde köklü değişiklikler yaratmıştır. Artırılmış gerçeklik tabanlı pazarlama uygulamaları ve çevrimiçi alışveriş imkanlarının yaygınlaşması, tüketiciye erişimi kolaylaştırmakta ve sektörde yeni fırsatlar sunmaktadır.

Günümüzde yapay zekânın sanat üretip üretmeyeceği konusundaki tartışmalar devam ederken, resim yapabilen algoritmaların geliştirilmesi bu alandaki ilerlemeyi gözler önüne sermektedir. Örneğin, AARON, Google Deep Dream ve GauGAN gibi yazılımlar, görsel sanatlar alanında dikkat çeken uygulamalar arasında yer almaktadır. Bu gelişmeler, moda tasarımı bağlamında da “Yapay zekâ tasarım yapabilir mi?” sorusunu gündeme taşımaktadır.

Sanatçı ve araştırmacı Robbie Barrat, yapay zekânın bir moda şovu oluşturup oluşturamayacağını test etmek amacıyla Balenciaga’nın moda gösterilerinden elde edilen verileri kullanarak bir proje geliştirmiştir. Sinir ağlarını temel alan bu proje, Balenciaga’nın tarzını öğrenip yeni bir koleksiyon yaratmayı hedeflemiştir. Sonuçlar, yapay zekânın giysi tasarımı konusunda sınırları aşmasa da, karmaşık desenler ve dokular üretme potansiyelini ortaya koymuştur. Ayrıca, sanal modeller kullanılarak yapay zekâ destekli bir moda şovu gerçekleştirilmiştir.

Moda tasarımında öne çıkan bir diğer yenilik, giyilebilir teknoloji ürünleridir. Akıllı giysi kavramı, yalnızca giyinme ihtiyacını karşılamakla kalmaz; dokunma, basınç veya ısıya duyarlı iletken kumaşlar kullanılarak tasarlanmış yeni işlevsel özellikler de sunar. Bu alandaki örneklerden biri, Google ve Levi’s iş birliğiyle üretilen “Levi’s Commuter Trucker Jacket” projesidir. İlk kez 2016’da tanıtılan bu ceket, 2017’de satışa sunulmuştur. Görünüşte sıradan bir ceket olan bu ürün, iletken kumaş teknolojisi sayesinde telefon, müzik çalar ve harita uygulamalarının kontrolünü kullanıcıya sunmaktadır.



Görsel 2. Levis ve Google ortaklığı ile geliştirilmiş commuter ceket, 201

Schwab’ın (2017) dijital megatrendler başlıklarına ek olarak, sanal gerçeklik, üç boyutlu (3B) tasarım ve artırılmış gerçeklik uygulamaları üzerine yapılan çalışmalara da değinmek önemlidir. Her ne kadar 3B tasarım ve simülasyon teknolojileri, 1990’lardan itibaren

endüstriyel tasarım, mimari ve otomotiv gibi alanlarda kullanılmaya başlanmış olsa da, moda endüstrisinde kullanımı oldukça yeni bir gelişme olarak dikkat çekmektedir. Bu teknolojilerin hem tasarım hem de tanıtım süreçlerinde giderek daha fazla fark yarattığı gözlemlenmektedir [9]. Moda tasarımında öne çıkan yazılımlardan biri olan CLO 3D, moda endüstrisinde tasarım departmanlarında giderek yaygınlaşmaktadır. İlk sürümü 2010 yılında piyasaya sürülen bu program, üç boyutlu giysi tasarımı, giysi simülasyonu, kalıp provası ve tasarımların her açıdan incelenmesi gibi olanaklar sunarak, geleneksel iki boyutlu bilgisayar destekli tasarım araçlarına kıyasla daha kapsamlı bir deneyim sağlamaktadır. Ayrıca, bu yazılım ile tasarlanan giysiler kullanılarak sanal defileler oluşturulabilmektedir. McQuillan (2020) tarafından yapılan bir araştırmada, Balmain'in CLO 3D kullanılarak oluşturulan ve sanal süper modellerle tanıtılan Sonbahar 2018 koleksiyonu incelenmiştir (Görsel 6). Bu çalışma, 3B sanal tasarım teknolojilerinin tanıtım süreçlerindeki kullanımına önemli bir örnek teşkil etmektedir [10]



Görsel 3. Balmain SS-18 koleksiyonunda yer alan avatarlar, 2018. [10]

3. MODA TASARIMI VE YAPAY ZEKÂDA KULLANILAN ANALİZ TEKNİKLERİ

Giysi üretiminde yapay zekâ teknikleri arasında uzman sistemler, sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritmalar, evrimsel stratejiler, yapay bağışıklık mekanizmaları ve çoklu ajan sistemleri yer almaktadır. Makine öğrenimi ve derin öğrenme alanındaki son yenilikler, yapay zekânın tasarım süreçlerine etkili bir şekilde entegre edilmesini sağlamaktadır. Özellikle derin öğrenme temelli üretken karşıt ağlar (Generative Adversarial Networks - GAN), kullanıcı tercihlerinin analizine dayanarak trend parçalar tasarlama ve mevcut görsellerden benzersiz tasarımlar oluşturma gibi işlevleriyle dikkat çekmektedir.

GAN, üretici (generator) ve ayırt edici (discriminator) olmak üzere iki ana bileşenden oluşur. Üretici birim, yeni görseller oluştururken, ayırt edici birim bu görselleri veri tabanındaki gerçek

görsellerle karşılaştırarak doğruluklarını değerlendirir. Bu değerlendirme sonuçları, üreticiye geri bildirim olarak iletilir. Üretici, aldığı geri bildirimini kullanarak kendini geliştirir ve her döngüde daha gerçekçi, tutarlı görseller ortaya çıkarır. Bu iteratif süreç, sistemin sürekli gelişmesini ve daha özgün sonuçlar üretmesini mümkün kılar [11-16].

4. TEKSTİL VE MODA MARKALARINDA YAPAY ZEKA KULLANIMINA ÖRNEKLER

Giysi sektöründe yapay zekâ, farklı tekniklerin tasarım süreçlerine entegre edilmesiyle önemli bir yer edinmiştir. Bu süreçte kullanılan başlıca yapay zekâ yöntemleri; uzman sistemler, sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritmalar, evrimsel stratejiler, yapay bağışıklık sistemleri ve çoklu ajan sistemlerini kapsamaktadır [11]. Makine öğrenimi ve derin öğrenme teknolojilerindeki gelişmeler, yapay zekânın moda tasarımı süreçlerine daha kolay entegre edilmesini sağlamıştır [12]. Özellikle üretken karşıt ağlar (Generative Adversarial Networks - GAN), kullanıcı tercihlerini analiz ederek benzersiz tasarımlar oluşturmak ve mevcut görsellerden yeni, özgün ürünler tasarlamak için önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır [13-16]. Moda sektöründe yapay zekâ kullanımıyla ilgili başarılı projelere örnek olarak Tommy Hilfiger, IBM ve New York Moda Teknolojileri Enstitüsü'nün ortak çalışması gösterilebilir. Bu iş birliğinde, Tommy Hilfiger'in arşivindeki 15.000 tasarım görseli yapay zekâ sistemine yüklenmiş ve öğrenciler bu verileri yeni tasarımlar geliştirmek için kullanmıştır. Benzer şekilde, Jason Grech ve IBM Watson iş birliğiyle bir haute couture koleksiyonu hazırlanmıştır (AI for Fashion, t.y.) [17]. Robbie Barrat ise 2018 yılında Balenciaga'nın tüm görsel arşivini ve defile kayıtlarını yapay zekâyâ tanıtarak tamamen yeni bir koleksiyon ortaya koymuştur (Schwab, 2018). Diğer bir örnek, Sarah McBride'in, Google Quick Draw adlı bir video oyununda kullanıcıların yaptığı çizimlerden esinlenerek t-shirt baskıları tasarlamasıdır [18].

Finlandiya'dan moda tasarımcısı Matti Liimatainen, Aalto Üniversitesi'nde algoritmik tasarım üzerine araştırmalar yürütmektedir. Liimatainen, birleştirilmeye hazır giysi kitleleri geliştirmeye odaklanırken, insan müdahalesine gerek kalmadan çalışan bir sistem oluşturmayı hedeflemektedir. Ayrıca, bu sistemin sezgisel bir yaklaşımla içgüdüsel kararlar alabilmesi üzerinde çalışmaktadır [19].

Kotouza ve çalışma arkadaşları, 16. IFIP WG 12.5 Uluslararası Konferansı'nda, yapay zekâ destekli bir moda tasarım asistanının işleyişini tanıtmıştır. Bu sistem, önceki koleksiyonlardan ve tasarımcıların takip ettiği dijital platformlardan veri toplayarak işlemektedir. Kıyafetlerin yaka tipi, boyu ve kesimi gibi özellikleri analiz edilmekte, ardından eş anlamlılar ve zıt

anlamlılarla zenginleştirilmiş bilgilerle sonuçlar sunulmaktadır. Sistem, kullanıcıların arama kriterlerine göre bu verileri gruplandırmakta ve tasarımcılardan aldığı geri bildirimlerle kendini sürekli olarak geliştirmektedir [20]. Yapay zekâ yalnızca tasarım süreçlerini destekleyen bir araç olmakla kalmayıp, müşteri geri bildirimlerini hızlı bir şekilde toplamak ve değerlendirmek için de kullanılmaktadır. Örneğin, Badgey-Mischka markası, New York Moda Haftası sırasında izleyicilerin tasarımları puanlayabileceği bir mobil uygulama geliştirmiştir [21]. 2016 yılında Marchesa, IBM Watson ile bir iş birliği yaparak Karolina Kurkova'nın Met Gala'da giydiği elbisenin rengini, Twitter kullanıcılarından alınan yorumlara göre değiştirmiş ve izleyicilere etkileşimli bir deneyim sunmuştur [22].



Görsel 3. Marchesa & IBM iş birliği [23]

Fabricant, Gucci, DressX, Carlings ve Hot Second gibi markalar, dijital dünyanın ve avatar kullanımının ön plana çıktığı bir çağda, moda sektörüne yenilikçi bir perspektif kazandırarak sanal kıyafet tasarımları geliştirmektedir. The Fabricant, dünyanın ilk dijital moda evi olarak yalnızca avatarlar ve sanal platformlar için tasarımlar üretmekte ve aynı zamanda Tommy Hilfiger'in Amsterdam'daki ofisinin dijital dönüşüm sürecine önemli katkılarda bulunmuştur [24]. Markanın kurucularından Amber Slooten, Paris Moda Haftası'nda tüm görselleri derleyerek, bu içeriklerden ilham alan tamamen dijital bir proje hazırlamış ve bunu defile sırasında sergilemiştir. Slooten, dijital geleceğin, farklı bölgelerde yaşayan bireylere eşit olanaklar sunarak fikirlerini hayata geçirme ve tasarımlarını dünyaya tanıtmaya fırsatı

sağlayacağına inanmaktadır. Bu vizyonunu şu sözlerle ifade etmektedir: “Dakar’daki bir çocuk, Paris’teki bir çocukla aynı fırsatlara sahip olabilir” [24-26].

5. COVID 19 PANDEMİSİNİN MODADA SÜRDÜRÜLEBİLİR YAKLAŞIMLAR VE YAPAY ZEKA KULLANIM ÜZERİNE ETKİLERİ

Sürdürülebilirlik; çevresel, ekonomik ve sosyal yönleri olan bir kavram olarak tanımlanmakta ve günümüzde kalkınmayı etkileyen küresel ve yerel ölçekte ekolojik, ekonomik ve politik boyutlarıyla dikkat çekmektedir. Moda sektörü ise, değişim ve sürekli tüketim anlayışını teşvik eden yapısıyla bu kavrama çoğu zaman ters düşmektedir. Örneğin, Pure Earth raporlarına göre moda endüstrisi, çevreyi kirleten sektörler arasında petrol ve ambalajlama endüstrisinden sonra üçüncü sırada yer almaktadır [27]. Hazır giyim sektörü her yıl yaklaşık 2 milyon ton atık, 2.1 milyon ton karbon salınımı ve 70 milyon ton su tüketimiyle önemli çevresel sorunlara yol açmaktadır [28]. Moda endüstrisinin çevreye olan zararları arasında enerji, hammadde ve su tüketiminin yanı sıra aşırı tüketim anlayışı, kullan-at kültürünün yaygınlaşması ve eski kıyafetlerin atık sahalarında birikmesi gibi sorunlar bulunmaktadır. Ayrıca, tekstil makinelerinin neden olduğu gürültü kirliliği ve hayvan bazlı liflerin üretiminde hayvan hakları ihlalleri gibi unsurlar, ekolojik dengenin bozulduğunu göstermektedir. Moda sektörü yalnızca çevresel etkileriyle değil, aynı zamanda sosyal sürdürülebilirlik açısından da olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Sanayileşmenin etkisiyle insani değerlerin zayıflaması, bu sorunların başında gelmektedir. Özellikle Asya’daki (Çin, Bangladeş, Vietnam ve Hindistan gibi) düşük maliyetli iş gücünün kullanılması, hem hızlı moda hem de lüks moda markalarının kâr marjını artırırken, çalışanların yaşam standartlarını iyileştirememiştir. Ayda 40 doların altında gelir elde eden, genellikle 12 yaşından itibaren ağır koşullarda çalışmak zorunda kalan işçiler bu sistemin mağdurları arasında yer almaktadır [29]. Bu durumun en dramatik örneklerinden biri, 24 Nisan 2013’te Bangladeş’te meydana gelen ve 1100 kişinin hayatını kaybettiği Rana Plaza faciasıdır. Bu trajedi, hazır giyim sektöründe değişim ihtiyacını ortaya koymuş ve tüketicilerde sosyal sorumluluk, etik değerler ve insan hakları konularında farkındalık yaratmıştır [30]. Covid-19 pandemisinin sektörler ve tüketici davranışları üzerindeki etkileri henüz tam olarak değerlendirilememiştir. Ancak Hollandalı trend analisti Li Edelkoort, pandeminin yalnızca günlük yaşamın hızını değil, aynı zamanda tüketim alışkanlıklarını da yavaşlatacağını belirtmiş ve bu durumu “tüketim karantinası” olarak tanımlamıştır [31].

Pandeminin moda sektöründeki değişimleri üç ana başlık altında toplanabilir:

1. Sürdürülebilirlik bilincinin artışı,
2. Koleksiyon sayılarının ve moda haftalarının sorgulanması,

3. Dijital araçların üretim ve pazarlamada daha etkin hale gelmesi.

Pandemi sürecinde evlerin çalışma alanlarına dönüşmesi ve dış mekân etkinliklerinin kısıtlanması, tüketicilerin tüketim alışkanlıklarını gözden geçirmelerine neden olmuştur. Harcamalardaki azalma, moda sektörünü ciddi şekilde etkilemiş, tüketiciler daha çevre dostu ve yavaş moda anlayışına yönelmiştir. Bu dönemde, tüketiciler yalnızca kıyafetlerin görünümüne değil, üretim süreçlerine ve kullanılan malzemelere de önem vermeye başlamıştır. Stokların birikmesi, koleksiyon çıkarma sıklığının yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmıştır. Birçok marka, hızlı moda kapsamında yılda 6-8 koleksiyon çıkarma politikasını sonlandırarak daha az ancak daha etkili koleksiyonlar sunma kararı almıştır. Örneğin, Levi's, tüketicileri daha az ancak kaliteli ürünler almaya teşvik eden kampanyalar düzenlerken, H&M geri dönüştürülmüş ve sürdürülebilir materyallerden üretilen koleksiyonlarını öne çıkarmıştır. Moda sektöründe dijitalleşme, üretim, tasarım, tedarik ve satış süreçlerini etkileyerek önemli bir dönüşüm yaratmaktadır. CAD-CAM sistemleri gibi teknolojiler sayesinde üretim süreçlerinde hız ve verimlilik artarken, sıfır atık prensibine uygun kalıp kesim sistemleri de sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamaktadır.

Sanal mağazacılık, tüketicilere beden ölçülerine uygun kişiselleştirilmiş tasarımlar sunarak yeni bir deneyim sunmaktadır. Ayrıca, CAD yazılımları ile geliştirilen 3D dijital kıyafetlerin satıldığı “dijital moda” sektörü hızla büyümektedir. CLO3D ve Marvelous Designer gibi yazılımlar, fiziksel üretim gerektirmeyen tasarımlar oluşturularak tüketicilere dijital ortamda sunulmasını sağlamaktadır.

2019 yılında Kerry Murphy tarafından Hollanda’da kurulan “The Fabricant,” dünyanın ilk dijital moda evi olarak bu alanda öncü bir rol üstlenmiştir. The Fabricant, tüketiciler için tamamen 3D tasarımlar sunmakta ve bu sayede defile, stüdyo veya fiziksel örnek gibi maliyetleri ortadan kaldırarak hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından yeni bir yaklaşım sunmaktadır [32].



Görsel 4. The Fabricant” 3D örneği [32]

6. YAPAY ZEKA VE TREND TAHMİNİ

Moda tasarımında doğru trend tahminleri oldukça önemlidir; yanlış yapılan öngörüler, hem kurumlar hem de çalışanlar açısından ciddi mali kayıplara neden olabilir. IBM tarafından geliştirilen Watsons yapay zekâ teknolojisi, tasarımcıların araştırma süreçlerini hızlandırarak geçmişteki binlerce görseli analiz etmekte ve bu verileri tasarımcıların kullanımına sunmaktadır. Örneğin, Falguni & Shane Peacock, 2017 yılında Watsons’u kullanarak Bollywood temalı bir koleksiyon oluşturmuş, bu süreçte 600.000 defile görselini tarayarak 5.000 stil ve 100.000 desen seçeneğini analiz etmiştir [33]. Benzer şekilde, Eleks Lab, yapay zekâ destekli sistemler aracılığıyla perakendecilere çeşitli trend tahmin hizmetleri sağlamaktadır. H&M ise 2019 yılında, satılmayan ürünler nedeniyle yaşanan 4 milyar dolarlık zararı azaltmak için yapay zekâ tabanlı veri analitiği uygulamalarına yönelmiş ve bu süreçte veri uzmanı Christopher Wylie ile çalışmıştır [34].

Trend tahmini için kullanılan bir diğer araç olan Edited yapay zekâ sistemi, WGSN gibi popüler trend tahmin platformlarına benzer öngörüler sunmasına rağmen, giysi detaylarıyla ilgili kesin sonuçlar vermekte yeterince başarılı olamamaktadır. DuBreuil ve Lu’nun yaptığı bir çalışma, yapay zekâ sistemlerinin zamansız ve klasik parçalar için daha tutarlı tahminler sunduğunu ancak sosyal ve kültürel değişimlere adapte olmakta zorlandığını ortaya koymuştur [35]. Getman ve arkadaşlarının (2021) gerçekleştirdiği bir başka çalışma ise makine öğrenimi ve bilgisayarla görme tekniklerini kullanarak, moda trendlerinin coğrafi, sosyal, politik ve kültürel etkilerle nasıl şekillendiğini incelemiştir. Çalışma, Vogue runway görselleri ve sokak modası fotoğraflarını analiz ederek, 2016-2017 yıllarında popülerleşen beyzbol şapka trendinin, Donald Trump’ın başkanlık kampanyası ile spor giyim tarzının yükselişi arasında bir bağlantı olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, politik ve sosyal olayların moda trendleri üzerindeki etkisini açıkça gözler önüne sermektedir [36].

7. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Günümüzde tekstil ve moda markaları, rekabet avantajı elde etmek için yapay zekâ teknolojilerini tasarım süreçlerinde sıkça kullanmaktadır. Yapay zekâ, tasarımcıların verimliliğini artırarak araştırma ve koleksiyon hazırlama süreçlerini kolaylaştırmakta, renk, kumaş, desen gibi unsurlar konusunda tasarımcılara destek sağlamaktadır. Ancak, yapay zekâ

kullanımı, tasarımcının bilgi birikimi, estetik anlayışı ve vizyonuyla ile de doğrudan ilişkilidir. Yapay zekânın tasarım süreçlerinde yer alması, bir nevi insan zekâsının ve estetik anlayışının taklit edilmesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle, yapay zekâ teknolojileri, tasarımcıların vazgeçilmez araçlarından biri hâline gelmiştir. Yapay zekâ, doğru ve sorumlu kullanıldığında tasarımcılara zaman kazandırarak yaratıcılıklarına odaklanmalarını sağlamakta ve süreçte daha hızlı sonuçlar almalarına imkân tanımaktadır. Tarihsel olarak teknolojik yenilikler, başlangıçta mesafeli karşılanmış olsa da, toplumsal gelişime katkı sağlamış ve yeni iş kolları oluşturmuştur. Günümüzde de teknolojiyi yöneten insan kaynağına olan ihtiyaç devam etmekte, bu durum yapay zekâ kullanımında da geçerliliğini korumaktadır.

KAYNAKÇA

1. Groumpos, P. P. (2021). A critical historical and scientific overview of all industrial revolutions. IFAC-PapersOnLine, 54(13), 464-471
2. Pinheiro, P., Putnik, G. D., Castro, A., Castro, H., Dal, B. F. R., & Romero, F. (2019). Industry 4.0 and industrial revolutions: An assessment based on complexity. FME Transactions, 47(4), 831-840
3. Prisecaru, P. (2016). Challenges of the fourth industrial revolution. Knowledge Horizons. Economics, 8(1), 57.
4. Kılıç, R. (2023). Sanayi Devrimlerinin Serüveni: Endüstri 1.0'dan Endüstri 5.0'a. Takvim-i Vekayi, 11(2), 276-291.
5. Schwab, K., Samans, R., Zahidi, S., Leopold, T. A., Ratcheva, V., Hausmann, R., & Tyson, L. D. (2017, November). The global gender gap report 2017. World Economic Forum.
6. Luce, L. (2018). *Artificial intelligence for fashion: How AI is revolutionizing the fashion industry*. Apress.
7. Kaplan, K. ve Ertürk, E., (2012). Dijital Çağ ve Bireyin İdeolojik Aygıtları. The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication – TOJDAC. October 2012 2-4
8. Kipöz, Ş.(2013). Moda Tasarım (Edt. F. Curaoğlu). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayını No: 3014
9. Schwab, K. (2017), The Fourth Industrial Revolution, Penguin Books Ltd
10. McQuillan, H. (2020). Digital 3D design as a tool for augmenting zero-waste fashion design practice. International Journal of Fashion Design, Technology and Education, 13(1), 89-100.

11. Nayak, R., & Padhye, R. (2018). Artificial intelligence and its application in the apparel industry. In *Automation in Garment Manufacturing* (pp. 109-138). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101211-6.00005-7>
12. Yüksel, N., Börklü, H. R., Sezer, H. K., & Canyurt, O. E. (2023). Review of artificial intelligence applications in engineering design perspective. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 118, 105697. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105697>
13. Kang, W. C., Fang, C., Wang, Z., & McAuley, J. (2017, 18-21 Kasım). Visually-aware fashion recommendation and design with generative image models [conference presentation abstract]. *IEEE International Conference on Data Mining (ICDM)*, 207–216. <https://doi.org/10.1109/ICDM.2017.30>
14. Singh, M., Bajpai, U., V, V., & Prasath, S. (2020). Generation of fashionable clothes using generative adversarial networks: A preliminary feasibility study. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 32(2), 177–187. <https://doi.org/10.1108/IJCST12-2018-0148>
15. Brownlee, J. (2019, 12 Temmuz). 18 impressive applications of generative adversarial networks (GANs). *Machine Learning Mastery*. <https://machinelearningmastery.com/impressive-applications-of-generative-adversarial-networks/>.
16. Bayram, A. (2021, 15 Ocak). Generative adversarial networks (gan) nedir? Medium. <https://alper-bayram.medium.com/generati%CC%87ve-adversari%CC%87alnetworks-gan-nedir-f4ae346e679a>
17. Arthur, R. (2018, 15 Ocak). Artificial intelligence empowers designers In IBM, Tommy Hilfiger and FIT collaboration. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/rachelarthur/2018/01/15/ai-ibm-tommyhilfiger/?sh=5efe4a3878ac>
18. Pardes, A. (2019, 11 Temmuz). AI's latest job? Designing cool t-shirts. Wired. <https://www.wired.com/story/artificial-intelligence-in-fashion-design/>
19. Särämäkari, N., & Vänskä, A. (2022). ‘Just hit a button!’–fashion 4.0 designers as cyborgs, experimenting and designing with generative algorithms. *International Journal*

of Fashion Design, Technology and Education, 15(2), 211–220.

<https://doi.org/10.1080/17543266.2021.1991005>

20. Kotouza, M. T., Tsarouchis, S. F., Kyprianidis, A. C., Chrysopoulos, A. C., & Mitkas, P. A. (2020, 5-7 Temmuz). Towards fashion recommendation: An AI system for clothing data retrieval and analysis. Artificial intelligence applications and innovations [conference presentation abstract]. 16th IFIP WG 12.5 International Conference, AIAI 2020, Neos Marmaras, Greece, Proceedings, Part II 16, (433-444). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49186-4_36.
21. Stolyar, B. (2018, 14 Şubat 14). At N.Y. fashion week, Badgley Mischka let audience vote on designs with an app. Digitaltrends. <https://www.digitaltrends.com/mobile/badgleymischka-runway-app-new-york-fashion-week/>.
22. Stinson, L. (2016, 3 Mayıs). IBM's Watson helped design Karolina Kurkova's light-up dress for the Met Gala. Wired. <https://www.wired.com/2016/05/ibms-watson-helped-designkarolina-kurkovas-light-dress-met-gala/>
23. The Cutt, IBM (t.y.). A look inside Marchesa. The Cutt. <https://www.thecut.com/2016/04/metgala-dress-designed-by-marchesa-ibm-watson-c-v-r.html> adresinden 23 Ocak 2024 adresinden alınmıştır.
24. I amsterdam (2023, 19 Eylül). The Fabricant: the worlds first digital fashion house. <https://www.iamsterdam.com/en/business/key-sectors-forbusiness/creative/stories/the-fabricant>
25. Fairs, M. (2021, 3 Kasım). “In this future, a kid in Dakar stands as much chance as a kid in Paris” says Amber Slooten. Dezeen. <http://www.dezeen.com/2021/11/03/amberslooten-the-fabricant-fashion-manifesto-dezeen-15/>
26. Crook, L. (2021, 3 Kasım). Amber Slooten reveals her vision for a more inclusive fashion industry. Deezen. <https://www.dezeen.com/2021/11/03/dezeen-15-interview-amberslooten-the-fabricant-talk/>
27. Pureearth annual Reports, <https://www.pureearth.org/about-us/annual-reports/>, 05.06.2021
28. Mangır A. F. “Sürdürülebilir Kalkınma İçin Yavaş ve Hızlı Moda”. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi 19 (41.Yıl Özel Sayısı): 143-154, 2016

29. Metlioğlu H., Yılmaz H, Yılmaz H. “Covid 19 Sürecinde Moda Tasarımında Sürdürülebilirlik Yaklaşımları”. *idil*, 88 (2021 Aralık): s. 1747–1757. doi: 10.7816/idil-10-88-04.
30. Metlioğlu, H., Yakın, V. “Tekstilde Sürdürülebilirlik: Hızlı Moda Markalarının Sürdürülebilirlik Stratejileri”, *Uluslararası Toplum araştırmaları Dergisi*, 18 (Yönetim ve Organizasyon Özel Sayısı):1883-1908, 2021
31. Atalan, A. “Gelecek Arkeoloğu-Li Edelkort”, *Vogue*, Şubat, 112, 2021.
32. URL2. “The Fabricant” 3D örneği, <https://www.thefabricant.com/>, 14.06.2021
33. Peacock, S., F. (2012, 12 Temmuz). IBM Watson: The future of Bollywood fashion is cognitive. IBM. <https://admin02.prod.blogs.cis.ibm.net/blogs/think/2017/07/42019/>
34. Harper, L. (2019, 31 Ocak). Whistleblower Christopher Wylie joins fashion retailer H&M. *The Guardian*.
<https://www.theguardian.com/fashion/2019/jan/31/whistleblowerchristopher-wylie-joins-fashion-retailer-h-m>
35. DuBreuil, M., & Lu, S. (2020). Traditional vs. big-data fashion trend forecasting: an examination using WGSN and EDITED. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 13(1), 68–77.
<https://doi.org/10.1080/17543266.2020.1732482>
36. Getman, R. R., Green, D. N., Bala, K., Mall, U., Rawat, N., Appasamy, S., & Hariharan, B. (2021). Machine learning (ML) for tracking fashion trends: Documenting the frequency of the baseball cap on social media and the runway. *Clothing and Textiles Research Journal*, 39(4), 281–296. <https://doi.org/10.1177/0887302X20931195>

MODAL KUMAŞ ÜRETİMİNDE FİBRİLASYON VE YAĞ SÖKME İŞLEMLERİNİN ENTEĞRE EDİLMESİYLE SÜREÇ OPTİMİZASYONU

Zeynep ATLAS

Barutçu Tekstil Ar-Ge Merkezi

zeynepatlas@barutcu.com.tr - [0000-0002-5296-9927](tel:0000-0002-5296-9927)

Aslınur KAYGISIZ

Barutçu Tekstil Ar-Ge Merkezi

aslikaygisiz@barutcu.com.tr

Aliye AKARSU ÖZENÇ

Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü

aakarsu@uludag.edu.tr- [0000-0001-5603-5913](tel:0000-0001-5603-5913)

Prof. Dr. Semiha EREN

Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü

semihaeren@uludag.edu.tr- [0000-0002-2326-686X](tel:0000-0002-2326-686X)

ÖZET

Modal kumaş üretiminde, kumaş yüzey özelliklerini değiştirerek farklı bir estetik ve dokusal efekt katmak amacıyla fibrilasyon işlemi uygulanmaktadır. Fakat, geleneksel süreçlerde fibrilasyon ve yağ sökme işlemleri ayrı banyolarda gerçekleştirilmekte, bu da üretim sürecinin uzamasına ve maliyetlerin artmasına yol açmaktadır. Bu çalışmada, söz konusu sorunları çözmek ve üretim sürecini optimize etmek amacıyla, asidik yağ sökücü kimyasalların fibrilasyon işlemiyle birleştirildiği yenilikçi bir yöntem geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında, Ar-Ge çalışmalarıyla mevcut yağ sökücülerden daha etkili yeni bir ürün geliştirilmiş, farklı zamanlarda hazırlanan kimyasal için uygunluk testleri gerçekleştirilmiştir. Bu ürün, fibrilasyon işlemiyle entegre edilerek tek banyoda gerçekleştirilebilen bir süreç oluşturulmuştur. Bu sayede, üretim süreçleri sadeleşmiş, işlem adımları azalırken zaman ve maliyet avantajı sağlanmıştır. Yeni yöntemin uygulanmasıyla, su tüketiminde %3, doğalgaz ve elektrik tüketiminde ise %30 oranında tasarruf sağlanmıştır. Ayrıca, entegre işlem sonucu elde edilen kumaşların tuşelerini etkilemiş ve daha yumuşak bir doku elde edilmiştir. Bu yenilikçi yaklaşım, hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli katkılar sunarak tekstil sektöründe fark yaratmaktadır. Çalışma sonuçları, modal kumaş üretim süreçlerini daha verimli, çevre dostu ve maliyet etkin bir hale getirmektedir.

Anahtar Kelimeler : Modal kumaş, fibrilasyon, yağ sökme, süreç optimizasyonu

1. GİRİŞ

Tekstil üretim süreçleri verimliliği artırmak, çevresel etkiyi azaltmak ve kumaş kalitesini geliştirmek için sürekli olarak gelişmektedir [1]. Bu süreçler arasında, modal kumaşların yüzey özelliklerini değiştirme yöntemi olan fibrilasyon, benzersiz dokular ve efektler elde etmede

önemli bir rol oynar [2]. Kayın ağacı selülozundan elde edilen biyobazlı bir lif olan modal, yumuşaklığı, dayanıklılığı ve tüylenmeye ve büzülmeğe karşı direnci nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir [3-5]. Modal liflerinin yüzeyindeki fibril oluşumu, kumaşın estetik ve mekanik özelliklerini etkilerken, üretim sırasında kullanılan yağların liflerden etkili bir şekilde uzaklaştırılması da kumaş kalitesini doğrudan belirleyen kritik bir adımdır [6]. Ancak, yağ sökme işlemlerinden ayrı banyolarda gerçekleştirilen geleneksel fibrilasyon işlemleri zaman alıcı ve maliyetlidir.

Bu zorlukları ele almak için, bu çalışma, yeni geliştirilen asidik yağ sökme maddeleri kullanılarak fibrilasyonu ve yağ sökmeği tek bir banyoda birleştiren yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Bu birleşik süreç, üretim adımlarını azaltır, su ve enerji tüketimini en aza indirir ve üretim maliyetlerini önemli ölçüde düşürmektedir. Çalışma sonucunda entegre süreç, benzersiz dokular ve efektler sunan, iyileştirilmiş fiziksel ve estetik özelliklere sahip kumaşlarla sonuçlanmıştır. Bu sürdürülebilir yaklaşım yalnızca üretim iş akışını optimize etmekle kalmaz, aynı zamanda çevresel hedeflerle de uyumludur ve tekstil endüstrisinde rekabet avantajı sunmaktadır. Kaynak kullanımını azaltarak ve kumaş kalitesini artırarak, bu çalışma yenilikçi kimyasal çözümlerin tekstil üretiminde ilerlemeleri yönlendirme potansiyelini göstermektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Bu çalışma %87 Modal/%13 Poliester içerikli dokuma kumaşlar kullanılmıştır. Kullanılan yağ sökücü kimyasalın geliştirilmesi için su, alkol, etoksile, köpük kesici ve koruyucu maddeler yer almış ve çeşitli kalite testlerinden geçirilmiştir. Boyama ve bitim işlemleri için Then marka hava jetli boya makinesi kullanılmıştır.

2.2. Metot

Araştırmada, fibrilasyon ve yağ sökme işlemlerinin tek bir banyoda entegre edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, mevcut süreçlerde kullanılan yağ sökücü yerine, osmoz suyu ile çeşitli oranlarda karıştırılarak hazırlanan yeni bir kimyasal geliştirilmiştir. Bu kimyasalın pH, refraktometre ve katı madde değerleri gibi kalite parametreleri belirlenmiş ve farklı zaman aralıklarında bu parametrelerin uygunluğu test edilmiştir. Geliştirilen kimyasal, entegre boyama süreci için optimize edilmiş ve Then marka hava jetli boya makinesi kullanılarak entegre fibrilasyon ve yağ sökme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ardından kumaşlar boyama işlemine tabi tutulmuştur (Poliester için 130 °C'de 20 dakika boyama; modal için 60 °C'de 60 dakika boyama).

Kumaşların fiziksel ve mekanik özelliklerini değerlendirmek amacıyla çeşitli testler gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, kumaşların dayanıklılığını belirlemek için TS EN ISO 13934-1 standardına göre kopma mukavemeti testi yapılmıştır. Kumaşların renk stabilitesini belirlemek için ise TS EN ISO 105 C06 standardına uygun olarak yıkama haslığı testi uygulanmıştır.

Ayrıca, terleme ile temas eden kumaşların renk dayanıklılığını ölçmek amacıyla TS EN ISO 105 E04 standardına göre ter haslığı testi, suya maruz kalma durumundaki renk değişimlerini değerlendirmek için TS EN ISO 105 E01 standardına uygun olarak su haslığı testi gerçekleştirilmiştir. Kumaşların sürtünmeğe karşı dayanıklılığı ise hem kuru hem de ıslak koşullarda sırasıyla TS EN ISO 105 X12 ve TS EN ISO 105 X18 standartlarına göre yapılan

kuru sürtme ve ıslak sürtme testleri ile llmştr. Tek banyoda yapılan işlem iki banyoda yapılan işlem ile karılatırılmıtır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Haslık sonuçlarının değerlendirilmesi

Çizelge 1’de numunelere ait haslık sonuçları yer almaktadır. Çift banyoda yapılan işlem ve tek banyoda yapılan işlem arasındaki yıkama, su, asidik ter ve alkalik ter haslık sonuçları, neredeyse eşdeğer olup genellikle 4 veya 4/5 seviyesinde yer almıştır. Bu, her iki kumaşın da yıkama sonrasında renklerini büyük lde koruduğunu göstermektedir. Numunelerin asidik ter haslıklarına bakıldığında çift banyoda yapılan işlem ve tek banyoda yapılan işlemlerin, 4/5 puan alarak, bu kumaşların asidik etkilere karşı oldukça dayanıklı olduğunu ve renk veya yapı kaybının minimal düzeyde olduğunu ortaya koymaktadır. Alkali ter haslıkları değerlendirildiğinde çift banyoda yapılan işlem ve tek banyoda yapılan işlemlerin her ikisi de 4/5 puan alarak, kumaşların bazik etkilere karşı da yüksek dayanıklılık gösterdiğini ve renklerin bozulma riskinin düşük olduğunu ifade etmektedir. Kuru sürtme testinde her iki kumaş da 4 veya 4/5 puan almıştır, bu da kumaşların kuru srtmelere karşı oldukça dayanıklı olduğunu ve renk transferinin minimal olduğunu gösterir. Bu sonuç, kumaşların günlük kullanıma uygun olduğunu ve renklerinin kolayca solmayacağını veya yayılmayacağını göstermektedir. Islak sürtme testinde çift banyoda yapılan işlem için 3 puan verilmiştir, bu da kumaşın ıslak srtmelere karşı orta derecede dayanıklı olduğunu ve renk transferi veya aşınma olasılığının bulunduğunu ifade etmektedir. Tek banyoda yapılan işlem için ise 4/5 puan elde edilmiştir, bu da kumaşın ıslak srtmelere karşı yüksek derecede dayanıklı olduğunu ve renk transferinin minimal olduğunu göstermektedir. Bu farklılık, boyama aşamasındaki proses farklılıklarından kaynaklanabilir. Özellikle, tek banyoda yapılan ilemdede entegre fibrilasyon ve yeni geliştirilen yağ sökücünün kullanılması, fiziksel test sonuçlarının yüksek olmasını sağlamış ve boyanın kumaş liflerine bağlanma şekli üzerinde olumlu bir etki yaratmıştır. Bu durum, entegre prosesin etkinliğini artırarak kumaşın genel dayanıklılığını ve renk kalıcılığını güçlendirdiğini göstermektedir.

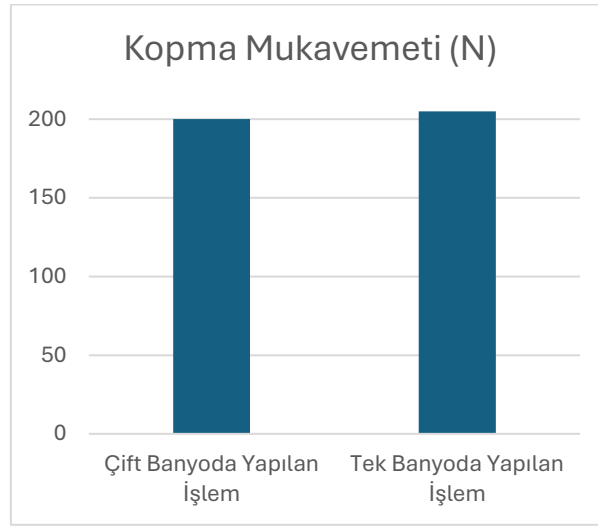
Çizelge 1. Haslık Sonuçları

		Asetat	Pamuk	Naylon	Poliester	Akrilik	Yn
Çift Banyoda Yapılan İşlem	Yıkama	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
	Su	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
	Ter (Asit)	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
	Ter (Alkali)	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
	Kuru Sürtme	4					
	Islak Sürtme	3					
Tek Banyoda Yapılan İşlem	Yıkama	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
	Su	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
	Ter (Asit)	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5
	Ter (Alkali)	4/5	4/5	4	4/5	4/5	4/5

	Kuru Sürtme	4/5
	Islak Sürtme	4/5

3.2. Kopma mukavemeti sonuçlarının incelenmesi

Görsel 1’de numunelere ait kopma mukavemeti sonuçları sunulmuştur. Buna göre numunelerin kopma dayanımı arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Her iki kumaşta benzer dayanım özellikleri sergilemiştir.



Görsel 1. Numunelere ait kopma mukavemeti sonuçları

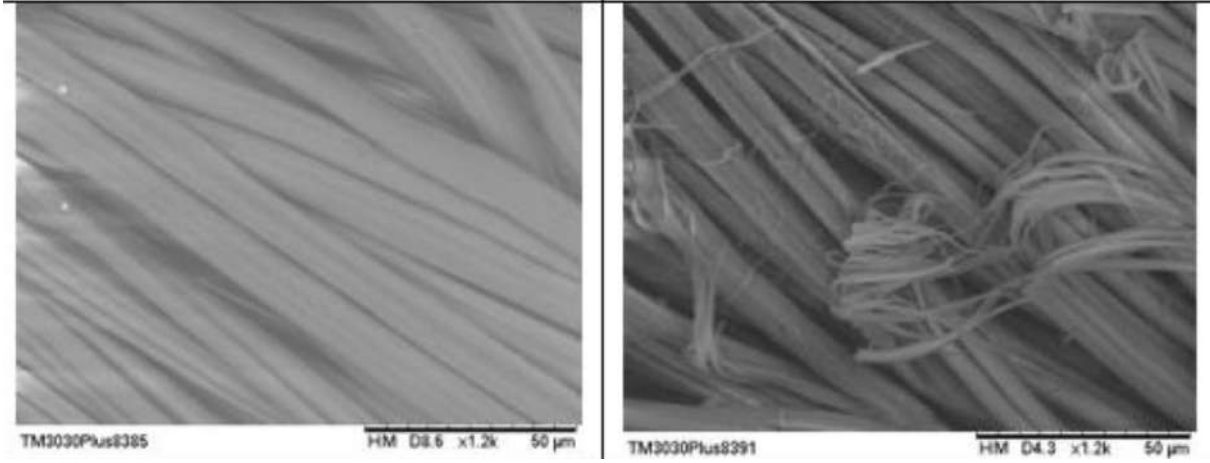
3.3. Aşınma direnci sonuçlarının incelenmesi

	Aşınma direnci
Çift Banyoda Yapılan İşlem	2/3
Tek Banyoda Yapılan İşlem	4/5

Martindale pilling testi, kumaşın sürtünmeye karşı dayanıklılığını ve boncuklanma (pilling) eğilimini değerlendiren bir testtir. Çift banyoda yapılan işlem için kumaş, 2/3 puan olarak pilling açısından gereksinimlerin altında kalmıştır ve bu durum, kumaşın daha fazla aşınma ve boncuklanma riski taşıdığını göstermektedir. Öte yandan, tek banyoda yapılan işlem için kumaş 4/5 puan almış ve pilling açısından yüksek dayanıklılığa sahip olduğu, gereksinimleri karşıladığı belirlenmiştir. Bu sonuç, kumaşın sürtünmelere karşı daha iyi performans gösterdiğini ve estetik açıdan daha uzun süre dayanarak daha uzun ömürlü olduğunu ortaya koymaktadır. Kumaşlardaki pilling değerlerinde görülen bu farklılıklar, boyama aşamasında kullanılan kimyasal maddelerden kaynaklanıyor olabilir. Özellikle, tek banyoda yapılan işlemde entegre fibrilasyon ve geliştirilen yağ sökücünün kullanılması, kumaşın dayanıklılığını artırmış ve pilling eğilimini azaltmıştır. Bu durum, entegre işlemin kumaşın genel dayanıklılığı ve performansı üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir.

3.4. SEM analizi sonuçları

Numunelere ait SEM görüntüleri Görsel 2’de sunulmuştur. Tek banyoda işlem gören kumaşın liflerinde fibrilasyon etkisi oldukça yüksektir. Bu entegre fibrilasyon işlemi sonucunda, modal liflerinden yüzeye çıkan fibrillerin sayısı ve uzunluğu kayda değer ölçüde artmıştır. Bu durum, tek banyoda işlem gören kumaşın fibrilasyon seviyesinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bu etki kumaşın tuşesine de yansımış ve daha yumuşak, sofistike bir doku elde edilmesine olanak sağlamıştır.



Görsel 2. Numunelere ait SEM görüntüleri (sol: Çift banyoda işlem gören kumaş, sağ: Tek banyoda işlem gören kumaş)

3.5. Maliyet analizi sonuçları

Bu çalışmada entegre fibrilasyon ve yağ sökme sürecinin ekonomik etkileri de değerlendirilmiştir. Tek bir banyoda iki işlemin gerçekleştirilmesi, geleneksel çift banyo yöntemine göre hem maliyet hem de üretim süresi açısından avantajlar sağlamaktadır. Tek banyoda gerçekleştirilen süreç, su, enerji (doğalgaz ve elektrik) tüketimi bakımından daha düşük maliyetlere sahiptir. Aşağıda, 1000 metre kumaş için maliyet kalemleri ayrıntılı olarak Çizelge 2’de sunulmuştur.

Çizelge 2. Maliyet analizi

Maliyet Kalemi	Birim Fiyat (TL)	Çift Banyoda Yapılan İşlem (TL)	Tek Banyoda Yapılan İşlem (TL)
Su Tüketimi (L/metre)	3,53 TL/lt	20.297,50	19.717,40
Doğalgaz Tüketimi (kWh/metre)	0,91 TL/kWh	2.620,80	2.018,38
Elektrik Tüketimi (kWh/metre)	2,51 TL/kWh	1.092,85	841,85
Toplam Maliyet (TL)		24.011,15	22.577,63

1000 metre kumaş için tek banyoda işlem gören kumaş, çift banyoda işlem gören kumaşa göre toplamda 1.433,52 TL daha düşük maliyetlidir. Entegre süreç, üretim süresinde %23 oranında

bir kısalma sağlamaktadır. Bu, fabrikanın yıllık üretim kapasitesinin artırılmasını mümkün kılmakta ve daha fazla üretim yapılmasına olanak tanımaktadır. Süreçlerin optimize edilmesi, iş gücü verimliliğini artırmakta ve aynı iş gücüyle daha fazla ürün üretilmesini sağlamaktadır. Bu durum, iş gücü maliyetlerinde %10-20 arasında tasarruf potansiyeli sunmaktadır. Bu ekonomik öngörüler, tek banyoda gerçekleştirilen entegre sürecin yalnızca teknik değil, aynı zamanda finansal ve operasyonel anlamda da büyük avantajlar sağladığını göstermektedir. Süreç optimizasyonu ile elde edilen maliyet, zaman ve verimlilik kazançları, bu yöntemin tekstil sektöründe geniş ölçekte uygulanabilirliğini artırmaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, fibrilasyon ve yağ sökme işlemlerini tek bir banyoda entegre ederek üretim sürecini optimize etmeyi, maliyetleri düşürmeyi ve kumaş kalitesini artırmayı başarmıştır. Tek banyoda yapılan işlemler, geleneksel çift banyo yöntemine kıyasla %23 zaman tasarrufu sağlamış, su ve enerji tüketimini azaltarak 1000 metre kumaş için 1.433,52 TL tasarruf sağlamıştır. Haslık ve dayanıklılık testleri, entegre süreçle üretilen kumaşların fiziksel ve estetik özelliklerinin eşdeğer veya daha üstün olduğunu göstermiştir. SEM analizi, entegre işlemin lif yüzeyinde yüksek fibrilasyon etkisi yaratarak kumaşın dokusunu iyileştirdiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, bu yenilikçi yöntem, maliyet ve çevresel avantajlarıyla tekstil sektöründe sürdürülebilir bir alternatif sunmakta ve geniş çaplı uygulamalarda önemli bir potansiyel taşımaktadır.

KAYNAKÇA

1. Slater, K., *Environmental impact of textiles: production, processes and protection*. Elsevier, 2003
2. Periyasamy, A. P., & Khanum, R., Effect of fibrillation on pilling tendency of Lyocell fiber. *Bangladesh Textile Today*, 4, 31-39, 2012.
3. Baruah, S., Kalita, B. B., Jose, S., Borah, M. P., & Kalita, S., Impact of weave on physico-comfort properties of eri/modal union fabric. *Journal of Natural Fibers*, 19(13), 5371-5379, 2022.
4. Ozdemir, H., Permeability and wicking properties of modal and lyocell woven fabrics used for clothing. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 12(1), 155892501701200102, 2017.
5. Moses, J. J., A study on modal fabric using formic acid treatment for K/S, SEM and fourier transform infrared spectroscopy. *Oriental journal of chemistry*, 32(2), 1099, 2016.
6. Terinte, N., Manda, B. K., Taylor, J., Schuster, K. C., & Patel, M. K., Environmental assessment of coloured fabrics and opportunities for value creation: spin-dyeing versus conventional dyeing of modal fabrics. *Journal of cleaner production*, 72, 127-138, 2014.

CuO NANOTOZLARININ YAPISAL ve MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNE TAVLAMA ETKİLERİ

ANNEALING EFFECTS of STRUCTURAL and MORPHOLOGICAL PROPERTIES of
CuO NANOPOWDERS

Öğr. Gör. Tarık BAYDAR^{1*}

¹Munzur University, Tunceli Vocational School, Department of Metal and Machinery
Technologies, Tunceli, Turkey
tarikbaydar@munzur.edu.tr - ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4243-4304>

Doç. Dr. Hüseyin ERTAP²

²Kafkas University, Faculty of Science and Letters, Department of Physics, Kars, Turkey
huseyinertap@kafkas.edu.tr - ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3896-6188>

Prof. Dr. Seydi DOĞAN³

³Balıkesir University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics
Engineering, Balıkesir, Turkey
dogans@balikesir.edu.tr - ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9875-4990>

ÖZET

Teknolojik uygulamalar için önemli bir malzeme olan CuO nanotozları hidrotermal yöntemle büyütüldü. Tavlanmamış ve tavlanmış CuO nanotozlarının yapısal ve morfolojik özellikleri XRD ve SEM ölçümleri kullanılarak çalışıldı. İncelenen tavlanmamış ve tavlanmış CuO nanotozlarının XRD spektrumları, bu nanotozların $a = 4.7002 \text{ \AA}$, $b = 3.4338 \text{ \AA}$ ve $c = 5.1452 \text{ \AA}$ örgü parametrelerine sahip monoklinik yapıda olduklarını ve 9:C1c1, özgün-b, hücre-1 uzay grubuna ait olduklarını ortaya koydu. En güçlü kırınım pikleri tavlanmamış CuO nanotozları için sırasıyla $2\theta = 35.304^\circ$, 38.402° ve 48.560° civarında ve tavlanmış CuO nanotozları için sırasıyla $2\theta = 35.477^\circ$, 38.627° ve 48.785° civarında gözlemlendi. Tavlanmış ve tavlanmamış CuO nanotozlarının ortalama parçacık boyutları (D) sırasıyla 16.907 ve 15.468 nm olarak hesaplandı. Tavlanmış CuO nanotozunun hesaplanan ortalama parçacık boyutu değerinin tavlanmamış CuO nanotozundan daha büyük olduğu açıkça görülmektedir ve bu durum tavlama etkisinin beklenen bir sonucudur. Tavlanmamış ve tavlanmış CuO nanotozlarının yüzey görüntüleri farklı büyütme oranlarında SEM analizleri ile elde edildi. Hem tavlanmamış hem de tavlanmış CuO nanotozlarının denizkestanelerine benzer küresel yapıların bir araya gelmesiyle oluşan yuvarlak adacıklardan oluştuğu gözlemlenmiştir. Yüksek büyütme oranlarında elde edilen görüntülerin analizinden denizkestanelerine benzer küresel yapıların rastgele yönlendirilmiş nano çubuklardan oluştuğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: CuO nanotozları, Parçacık boyutu, XRD ve SEM ölçümleri.

ABSTRACT

CuO nanopowders, being an important material for technological applications, were grown by hydrothermal method. Structural and morphological properties of non-annealed and annealed CuO nanopowders were studied by using XRD and SEM measurements. XRD spectra for the investigated non-annealed and annealed CuO nanopowders revealed that they had monoclinic structure with lattice parameters $a = 4.7002 \text{ \AA}$, $b = 3.4338 \text{ \AA}$ and $c = 5.1452 \text{ \AA}$, belonging to the $9:C1c1$, unique-b, cell-1 space group. The strongest diffraction peaks were observed around $2\theta = 35.304^\circ$, 38.402° and 48.560° for non-annealed CuO nanopowder and $2\theta = 35.477^\circ$, 38.627° and 48.785° for annealed CuO nanopowder, respectively. The average particle sizes of annealed and non-annealed CuO nanopowders were calculated as 16.907 and 15.468 nm, respectively. It is clearly seen that the calculated average particle size value of annealed CuO nanopowder is greater than that of non-annealed CuO nanopowder and this situation is an expected result of annealing effect. The surface images of non-annealed and annealed CuO nanopowders were obtained by SEM analyses at different magnifications. Both non-annealed and annealed CuO nanopowders have been observed to consist of round islands formed by the aggregation of spherical structures similar to sea urchins. From the analysis of the images obtained at high magnifications, it was seen that the spherical structures similar to sea urchins consist of randomly oriented nano rods.

Key Words: CuO nanopowders, Particle size, XRD and SEM measurements.

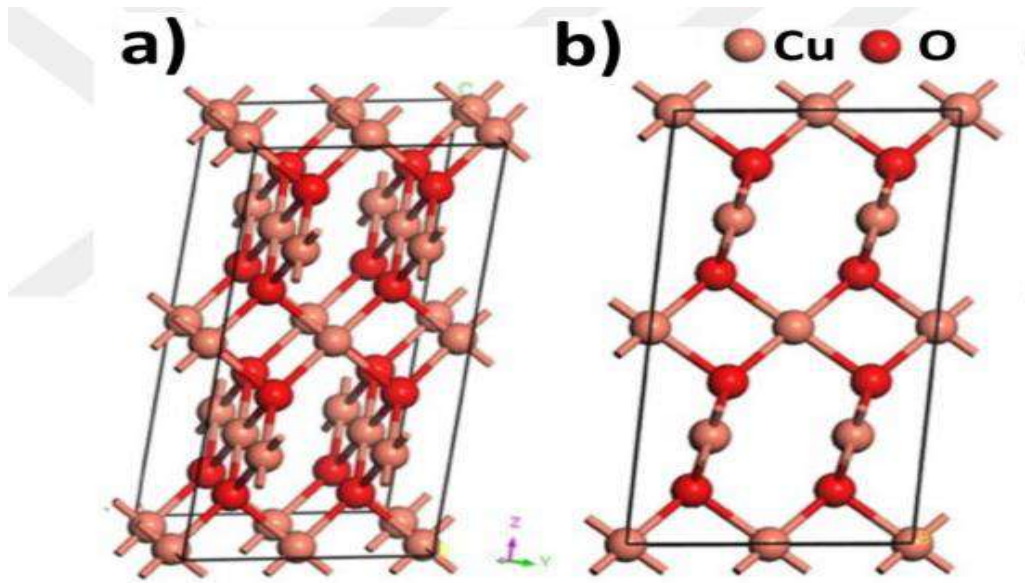
1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinde en çok kullanılan elektronik cihazların en önemli bileşenlerinden birisi, kontrol edilebilir elektriksel ve optik özellikleri sayesinde önem kazanan yarıiletkenler malzemelerdir [1]. Yarıiletkenlerin elektriksel iletkenlikleri geçici veya kalıcı olarak geniş bir aralıkta kontrol edilebilir, farklı maddelerle katkılandırmak suretiyle yarıiletkenlerin elektrik özellikleri önemli ölçüde değiştirilebilir ve hatta metaller kadar iletken hale getirilebilirler [2]. Bu tip yarıiletkenlerin sıcaklıkları mutlak sıfır sıcaklığa (0 K) yaklaştığında, öz dirençlerinin büyük bir artış göstererek çok iyi bir yalıtkan haline gelebildikleri bilinmektedir [3]. Serbest elektronların bulunduğu iletim bandı ile değerlik bandı arasındaki yasak enerji aralığının farklı oranlarda yapılan katkılama ile değiştirilerek fiziksel özelliklerine müdahale imkânı vermesi yarıiletkenlerin ön plana çıkan en önemli özelliklerinden olarak bilinir [4]. Yarıiletkenlerin böyle bir yapıya sahip olmaları onların lazer, diyot, transistör, termistör, modülatör, güneş pilleri, gaz sensörleri gibi birçok teknolojik üründe vazgeçilmez malzeme haline getirmiştir [5].

ZnO, Fe₃O₄, SnO₂, CdS, CuO gibi geçiş metal oksitleri, dikkat çekici fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde uzun yıllardır bilim insanlarının yoğun ilgisini çekmektedir [6]. CuO, özellikle düşük yasak enerji bant aralığı (1,2-2,1 eV) nedeniyle diğer metal oksitlerden ayrılmakta ve neredeyse kızılötesi bölgeye kadar geniş bir görünür ışık spektrumunu soğurabilmektedir. CuO'nun bu özelliğinin onu fotokatalitik aktiviteye sahip bir yarıiletken oksit haline getirdiği bilinmektedir [7-9].

CuO, en çok bilinen p-tipi yarıiletken oksitlerden biri olarak öne çıkmaktadır [8, 10]. CuO'nun kristal yapısı ilk kez 1933 yılında Tunell tarafından incelenmiş ve daha sonraki yıllarda ise tek dalga boyuna sahip X-ışını analizleriyle detaylandırılmıştır. CuO'nun üç boyutlu ve iki boyutlu

kristal yapıları sırasıyla Görsel 1 (a) ve (b)'de şematik olarak gösterilmektedir [11]. Genel olarak CuO, III B geçiş metali monooksitlerinin yaygın kaya tuzu yapısından farklı olarak, C2/c simetrisine sahip bir monoklinik kristal yapı sergilemektedir ve bu yapı, birim hücre başına dört formül birimi içermektedir. Koyu kahverengimsi bir renge sahip olan CuO parçacıkları, yüksek sıcaklıkta hidrojen veya karbon monoksitine maruz kaldığında metalik bakıra indirgenme yeteneğine sahiptir. Bununla birlikte CuO, üstün elektrokimyasal aktivite, süper termal iletkenlik ve yüksek termodinamik kararlılık gibi dikkat çekici fiziksel ve kimyasal özellikler göstermektedir [12]. Görsel 1'de CuO'nun üç ve iki boyutlu kristal yapısının şematik gösterimi verilmektedir.



Görsel 1: CuO'nun (a) 3 boyutlu ve (b) 2 boyutlu kristal yapılarının şematik gösterimi [11].

Bakır oksit yapılar, düşük maliyetleri, toksik olmamaları, oksit tabaka üretim ve oluşum süreçlerinin kolaylığı, ayrıca teorik olarak yüksek güneş enerjisi dönüşüm verimliliği gibi avantajlarından dolayı fazlaca tercih edilmektedir. Örneğin, güneş pillerinde Cu₂O'nun daha geniş bir yasak enerji bant aralığına sahip olması nedeniyle CuO'ya kıyasla daha uygun olduğu görülürken, CuO'nun dar yasak enerji bant aralığı sayesinde yüksek güneş ışığı emilimi ve düşük ısı yayılımı özellikleri, onu güneş termal enerji kolektörlerinde seçici-emici yüzeyler için ideal bir seçenek haline getirmektedir [13]. CuO'nun boyutunda veya şeklinde meydana gelebilecek bir değişiklik, yasak enerji bant aralığının değişmesine neden olabilmektedir [7]. Yasak enerji bant aralığında meydana gelen bu değişiklikler, CuO'nun optik özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir [8]. Ayrıca tane boyutu, tane sınırı, film kalınlığı gibi yapısal özellikler de bu yarıiletkenin elektriksel iletkenliğini önemli ölçüde etkilemektedir [9]. Bütün bu nedenlerden ötürü CuO'nun elektriksel özelliklerinin sentezlenme yöntemine bağlı olarak değişebileceği bilinmektedir [11,13].

CuO birçok farklı yöntemle sentezlenebilir ve her bir yöntem; malzemenin kristal yapısı, morfolojisi, yüzey alanı ve saflık düzeyi gibi özellikleri üzerinde farklı etkiler yaratır. Yaygın olarak kullanılan CuO nanotoz sentez yöntemi Hidrotermal Yöntem [14] olarak bilinmektedir.

Bununla birlikte, genel olarak CuO elde etme yöntemleri, Sol-Gel Yöntemi [15], Çöktürme Yöntemi [16], Termal Parçalanma [17], Elektrokimyasal Yöntem [18], Mikrodalga Destekli Sentez Yöntemi [19] ve Püskürtmeli Piroiliz Yöntemi [20] olarak sıralanabilir.

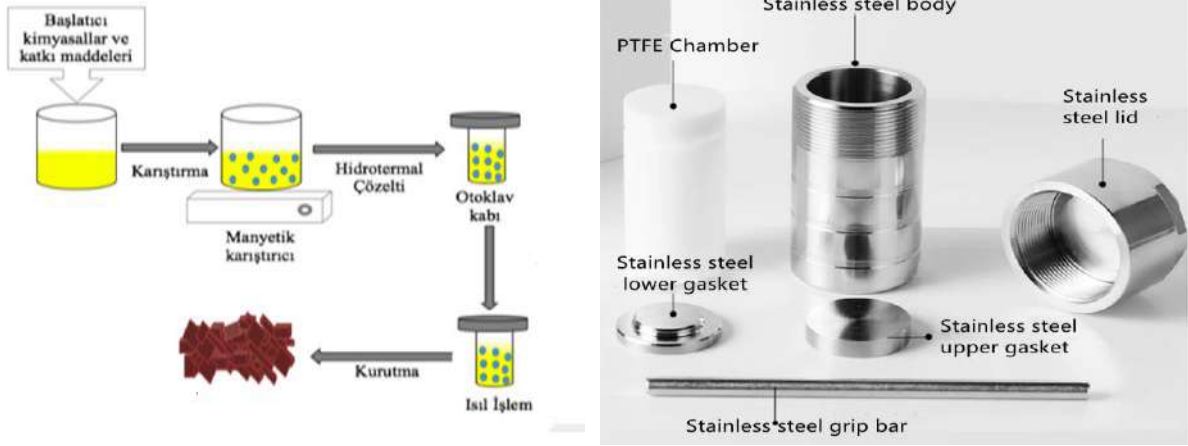
Hidrotermal sentez yöntemi, CuO nanoyapılarının morfolojisi ve faz saflığını kontrol etmede çevre dostu ve uygun maliyetli bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Sıcaklık, deney süresi, pH gibi reaksiyon parametreleri ayarlanarak farklı özelliklerde CuO nanoyapılar elde edilebilmekte ve bu nanoyapıları çeşitli uygulamalara uyarlamak mümkün olmaktadır [17].

CuO metal oksit tozlarının fiziksel, kimyasal ve morfolojik özellikleri, tavlama işlemi ile önemli ölçüde değiştirilebilmektedir. Tavlama, yüksek sıcaklıkta termal bir işlem olup, malzemenin kristal yapısını, faz saflığını, yüzey alanını ve parçacık boyutunu değiştirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu süreç, CuO'nun performansını etkileyen en temel faktörlerden biridir ve özellikle kataliz, enerji depolama ve sensör uygulamalarında malzemenin işlevselliğini optimize etmek için kritik bir öneme sahiptir.

Bu çalışmada, CuO nanotozları hidrotermal yöntem kullanılarak büyütüldü ve büyütülen CuO nanotozları 600 °C sıcaklığında tavlandı. Tavlanmış ve tavlınmamış CuO nanotozlarının yapısal ve morfolojik özellikleri sırasıyla X-Işınları Kırınımı (XRD) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) yöntemleri ile araştırıldı.

2. DENEYSEL YÖNTEMLER

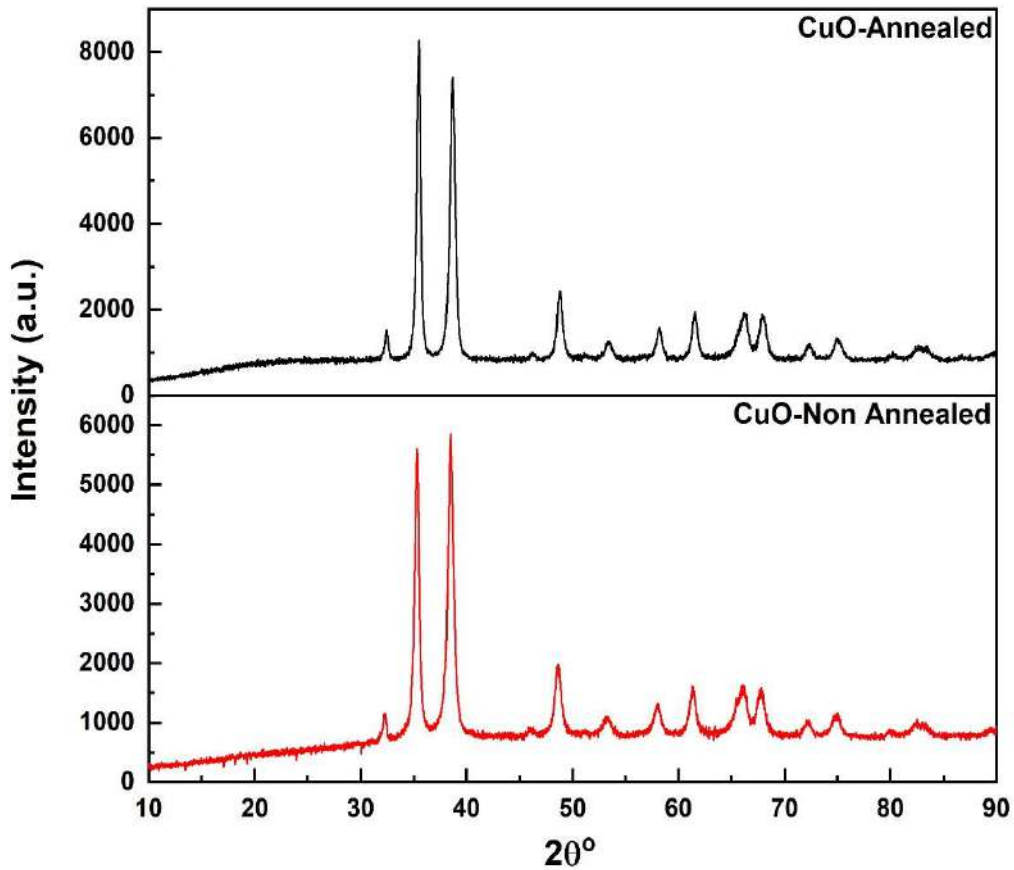
CuO nanoparçacıkları, içerisinde 60 mL saf su bulunan behere 15 mmol Cu kaynağı eklenerek 5 dk boyunca manyetik karıştırıcı da bekletildi. 20 mL saf su bulunan başka bir behere 5 g NaOH konularak çözünmesi sağlandı ve elde edilen NaOH çözeltisi, Cu kaynağı bulunan behere aktarıldı. Toplam çözeltinin homojen hale getirilmesi için oda sıcaklığında 5 dakika karıştırıldı ve daha sonra hidrotermal üniteye transfer edildi. Hidrotermal ünite 180 °C sıcaklığa kadar ısıtıldı ve çözelti bu koşullar altında 6 saat bekletildi. Daha sonra sistem 1 saat içerisinde oda sıcaklığına gelecek şekilde soğutuldu. Bu işlemler sonucunda oluşan çökelti sırasıyla saf su ve etanol ile üçer kez temizlendi. Son olarak, çökelti etüvde 80 °C sıcaklığında 12 saat boyunca kurutuldu ve elde edilen CuO nanoparçacıkları 600 °C sıcaklığında tavlandı. Tavlanmış ve tavlınmamış CuO nanotozlarının yapısal özellikleri X-Işınları Kırınımı (XRD) (Rigaku MiniFlex 600) yöntemi ile araştırılırken, morfolojik özellikleri ise farklı büyütme oranları yardımıyla Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (Hitachi SU3500) yöntemi ile araştırıldı. CuO nanoparçacıklarının üretim basamakları ve hidrotermal reaktörün şematik olarak gösterimi Görsel 2'de verilmektedir.



Görsel 2: CuO nanotozlarının üretim basamakları ve hidrotermal reaktörü şematik gösterimi[21].

3. DENEYSEL BULGULAR

Görsel 3 'te tavlannamış ve 600 °C sıcaklığında tavlannmış olan CuO nanotozlarının XRD spektrumları verilmektedir.



Görsel 3: Tavlannmış ve tavlannamış CuO nanotozlarının XRD spektrumu.

XRD spektrumlarının analizlerinden elde edilen sonuçlar, tavlannmış ve tavlannamış CuO nanotozlarının $a = 4.7002 \text{ \AA}$, $b = 3.4338 \text{ \AA}$ ve $c = 5.1452 \text{ \AA}$ olan örgü parametrelerine sahip monoklinik yapıda olduklarını ve uzay grubunun 9:C1c1, özgün-b, hücre-1 olduğunu

göstermiştir (PDF No: 901-6326). XRD spektrumlarının daha önce yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir [23]. XRD spektrumlarının analizlerinden elde edilen bazı parametreler Çizelge 1’de verilmektedir.

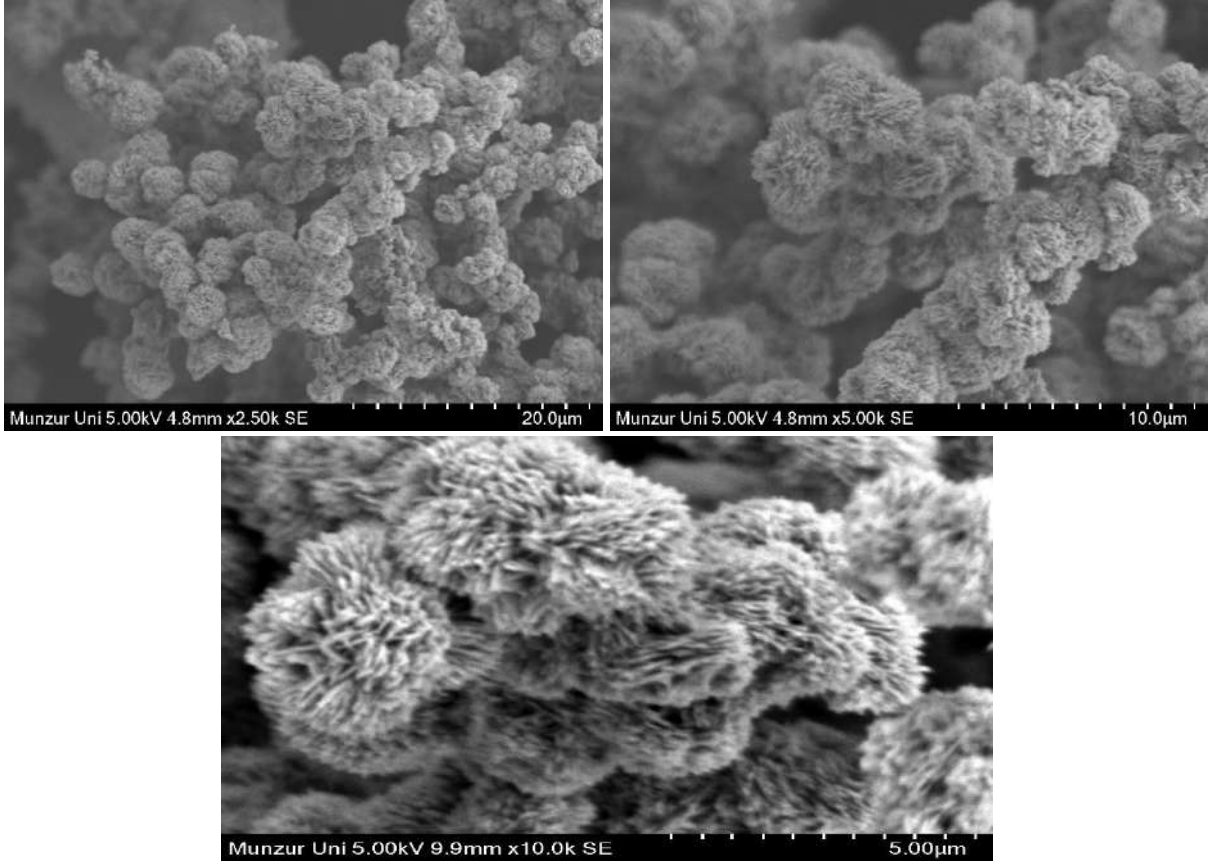
Çizelge 1: Tavlanmış ve tavlansız CuO nanotozlarının bazı parametreleri.

Pik	Numune	2θ	Şiddet(a.u.)	Şiddet Oranı	FWHM (β)	Parçacık Boyutu (nm)	Yapı/Faz
(0 0 2)	CuO	35.304	5470	0.670	0.486	17.936	Monoklinik/ Tenorit
	Tavlansız CuO	35.477	8171		0.440	19.809	
(1 1 1)	CuO	38.402	5465	0.750	0.614	14.309	Monoklinik/ Tenorit
	Tavlansız CuO	38.627	7291		0.598	14.716	
(2 0 -2)	CuO	48.560	1968	0.809	0.643	14.158	Monoklinik/ Tenorit
	Tavlansız CuO	48.785	2433		0.563	16.196	

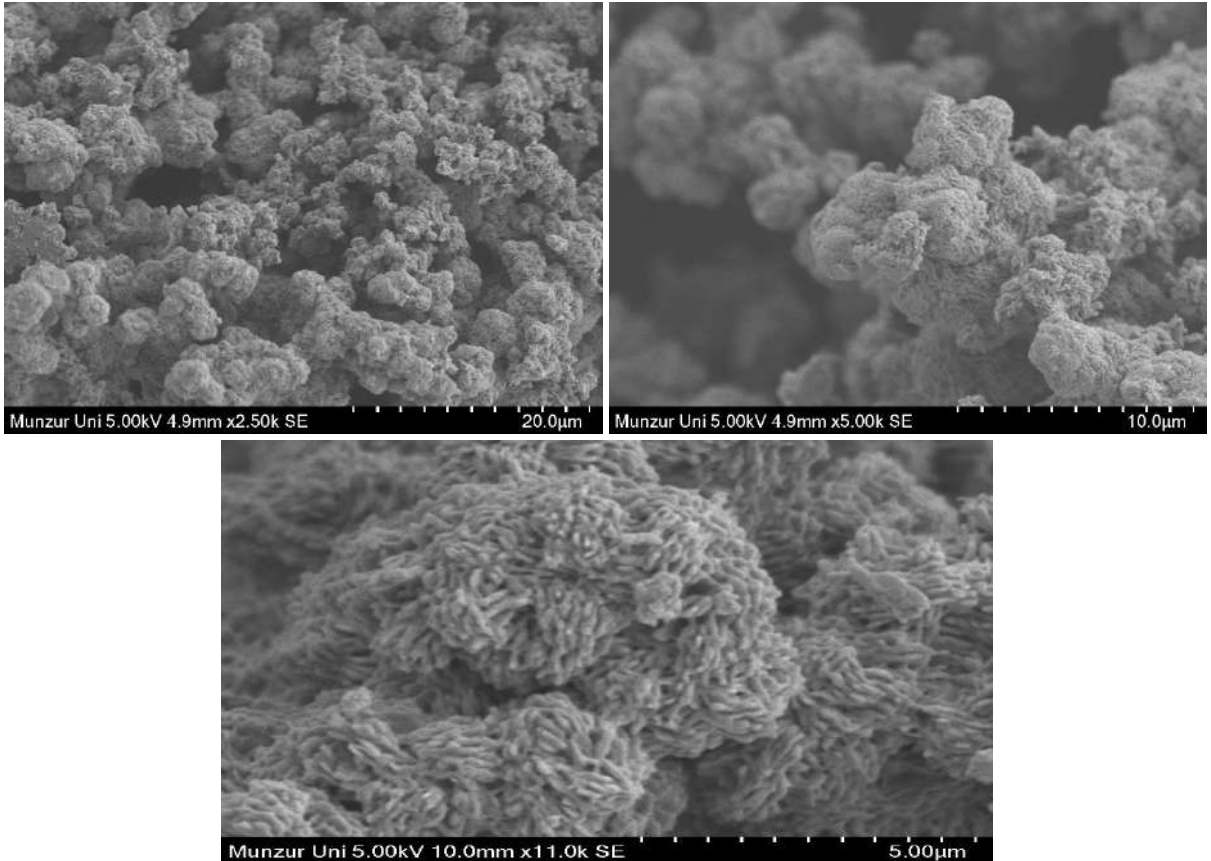
XRD analizlerinden tavlamanın etkisiyle pik şiddetinin arttığı, pik konumlarının daha yüksek dereceli açılara kaydığı, piklerin FWHM değerlerinin azaldığı ve ortalama parçacık boyutunun tavlansız CuO nanotozlarına oranla arttığı görüldü. Ayrıca, hem tavlansız hem de tavlansız CuO nanotozlarının XRD ölçümleri sonuçlarından elde edilen datalar vasıtasıyla çizilen grafiklerden ve veri tabanından çekilen değerler eşliğinde, grafiklerde görülen bütün piklerin CuO bileşiğine ait olduğu ve herhangi bir safsızlık piki barındırmağı görülmektedir. Bunlara ek olarak, XRD spektrumlarından elde edilen sonuçlar, düşük sıcaklıkla elde edilen CuO nanotozlarının düşük kristal saflığına sahip olduğunu ve tavlama etkisiyle CuO nanotozlarının kristal yapısının tavlansız CuO nanotozlarına oranla daha belirgin hale geldiğini göstermiştir. Tavlanmış ve tavlansız CuO nanotozlarının parçacık boyutları Scherrer denklemi kullanılarak XRD verilerinden hesaplandı [22].

$$D = \frac{K\lambda}{(\beta \cos\theta)}$$

Bu denklemde λ ; Cu K_{α} ışınımının dalga (0.15418 nm), K ; 0.94 olarak alınan Scherrer sabiti, θ ; parçacık boyutu hesaplanırken dikkate alınan kırınım pikinin tepe noktasının Bragg açısı ve β ise parçacık boyutu hesaplanırken dikkate alınan kırınım pikinin tepe noktasının FWHM değeridir. Scherrer formülünden tavlansız ve tavlansız CuO nanotozlarının ortalama parçacık boyutları sırasıyla 16.907 ve 15.468 nm olarak hesaplandı. Tavlamanın etkisine bağlı olarak nanoparçacıklarda ve nanotozlarda parçacık boyutunun artması beklenen bir sonuçtur. Tavlandsız ve 600 °C sıcaklığında tavlansız CuO nanotozlarının farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri sırasıyla Görsel 4 ve Görsel 5’te verilmektedir.



Görsel 4: Tavlanmamış CuO nanotozlarının farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri.



Görsel 5: Tavlanmış CuO nanotozlarının farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri.

Tavlanmamış ve 600 °C’de tavlanmış CuO nanotozların morfolojik özellikleri farklı büyütme oranlarına sahip SEM yüzey görüntüleri alınarak incelendi ve elde edilen görüntülerin daha önce yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu görüldü [23, 24]. Tavlanmamış CuO nanotozlarının SEM görüntüleri incelendiğinde nanotozların deniz kestanesine benzer küresel yapıların bir araya gelmesiyle oluşmuş yuvarlak adacıklar şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Tavlanmamış CuO nanotozlarının yüksek büyütme oranında alınan SEM görüntüleri incelendiğinde is deniz kestanesine benzer küresel yapıların rastgele yönelimli nano tabakalardan meydana geldiği görülmüştür. Tavlama etkisinin nanotozların yüzey morfolojisini ve parçacık boyutunu önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir ve bu durum CuO nanotozlarında da gözlenmektedir. Yüksek sıcaklıkta, nanotozlar arasında birleşme ve aglomerasyon meydana gelmesi bilinen bir olaydır ve bu durum parçacık boyutunun artmasına ve yüzey alanının azalmasına neden olmaktadır. Bu çerçevede, bu çalışmada CuO nanotozlarının 600 °C’de tavlanması sonucunda parçacıklar arası birleşme nedeniyle tavlanmamış CuO nanotozlarına oranla parçacık boyutunun arttığı ve yüzeyinin daha pürüzsüz yüzeylerden oluştuğu gözlemlenmiştir. Parçacık boyutunun artması durumu XRD sonuçlarından hesaplanan parçacık boyutu değerlerinden de görülmektedir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada tavlanmamış ve 600 °C sıcaklığında tavlanmış CuO nanotozlarının yapısal ve morfolojik özellikleri sırasıyla XRD ve SEM analizleri ile araştırıldı. XRD analizlerinden elde edilen sonuçlar, tavlanmış ve tavlanmamış CuO nanotozlarının $a = 4.7002 \text{ \AA}$, $b = 3.4338 \text{ \AA}$ ve $c = 5.1452 \text{ \AA}$ olan örgü parametrelerine sahip monoklinik yapıda olduklarını ve uzay grubunun 9:C1c1, özgün-b, hücre-1 olduğunu göstermiştir. Tavlanmamış ve 600 °C’de tavlanmış CuO nanotozlarının SEM görüntüleri incelendiğinde, hem tavlanmamış ve hem de 600 °C’de tavlanmış CuO nanotozların deniz kestanesine benzer küresel yapıların bir araya gelmesiyle oluşmuş yuvarlak adacıklardan oluştuğu görülmüştür. Her iki deneysel sonuçlar incelendiğinde tavlamaya bağlı olarak CuO nanotozlarının parçacık boyutunun arttığı gözlemlenmiştir. Tavlamanın, CuO nanotozlarının parçacık boyutunu ve yüzey morfolojisini önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Bu değişiklikler neticesinde, bant aralığı değeri değişmektedir ve bu değişim nanotozların optik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Buna ek olarak, parçacık boyutu ve sınırı gibi yapısal özelliklerin elektriksel iletkenliği de önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Sze, S. M. and Ng, K. K., *Physics of Semiconductor Devices*. John Wiley & Sons, 2006.
- [2] Pierret, R. F., *Semiconductor Device Fundamentals*. Addison-Wesley, 2003.
- [3] Streetman, B. G. and Banerjee, S., *Solid State Electronic Devices*. Pearson Education, 2005.
- [4] Kittel, C., *Introduction to Solid State Physics*. John Wiley & Sons, 2005.
- [5] Türk Standartları Enstitüsü (TSE). “*Yarıiletken Malzemeler ve Kullanım Alanları*”
- [6] Devi, L. G. ve ark., *Study on Metal Oxides: Properties and Applications*, 2020.

- [7] Xu, Y. ve Schoonen, M. A. A., “The Absolute Energy Positions of Conduction and Valence Bands of Selected Semiconducting Minerals”, *American Mineralogist*, 85(3), 543–556, 2000.
- [8] Zhang, H. ve ark., “Recent Advances in CuO-Based Photocatalysts for Water Splitting and Organic Pollutant Degradation”, *Applied Catalysis B: Environmental*, 146, 94–107, 2014.
- [9] Sun, H. ve ark., “Enhanced Photocatalytic Performance of CuO with Visible Light: A Review”, *Journal of Alloys and Compounds*, 785, 481–496, 2019.
- [10] Brown, A. B. ve ark., “Properties of p-Type Semiconductor Oxides: An Overview”, *Materials Chemistry and Physics*, 99(2), 123–131, 2006.
- [11] Raizada, P. ve ark., “Advanced Applications of CuO Structures in Photocatalysis”, *Nanotechnology Reviews*, 9(1), 1234–1250, 2020.
- [12] Soon, Y. W. ve ark., “Thermal and Electrochemical Properties of Copper Oxide Nanostructures”, *Materials Science and Engineering B*, 139(2), 95–102, 2007.
- [13] Yeşilçubuk, S. A., *Reaktif DC Magnetron Sıçratma Tekniği ile N-tipi Silisyum Altlık Üzerine Bakır Oksit İnce Film Biriktirme*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- [14] Liu, Y., Chen, Z. ve Wang, T., “Hydrothermal synthesis of CuO nanostructures and their application in gas sensors”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 345, 130376, 2021.
- [15] Padmanabhan, P., Kumar, R. ve Patel, A., “Recent advances in CuO nanostructures for energy and environmental applications”, *Materials Chemistry and Physics*, 241, 122305, 2020.
- [16] Zhang, J., Li, H. ve Zhao, X., “Synthesis and characterization of CuO nanostructures for photocatalytic applications”, *Applied Surface Science*, 456, 82-90, 2018.
- [17] Wang, J., Sun, S. ve Feng, J., “Morphology control of CuO nanomaterials through hydrothermal methods”, *Journal of Nanoparticle Research*, 21(8), 189, 2019.
- [18] Kumar, P. ve Kumar, R., “Electrochemical synthesis of CuO nanostructures for advanced catalytic applications”, *Electrochimica Acta*, 356, 136891, 2020.
- [19] Chauhan, S. ve Verma, M., “Microwave-assisted synthesis of CuO nanostructures: A review”, *Journal of Alloys and Compounds*, 834, 155193, 2020.
- [20] Jain, N., Sharma, V. ve Singh, J., “Spray pyrolysis technique for CuO thin films: Applications and developments”, *Thin Solid Films*, 626, 35-43, 2017.
- [21] URL-1, 2024. <https://tr.aliexpress.com/i/1005005619872215.html>. 15.11.2024.
- [22] Ertap, H. ve Karabulut, M., “Structural and electrical properties of boron doped InSe single crystals”, *Materials Research Express*, 6(3),035901, 2019.
- [23] Yadav, H. ve ark., *Syntheses of copper oxide nanoparticle by hydrothermal method and its structural and surface morphological studies*, 2nd International Conference on Recent Advances in Material Science and Nanotechnology, 221-227, Raman, 2022.

[24] Kaya, Ö., *Hidrotermal yöntemle büyütülen CuO ince filmlerde sentez süresi ve sıcaklığın filmlerin yapısal ve optik özellikleri üzerine etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.

ÇEVRE TEMİZLİĞİ İÇİN FOTOKATALİZÖR KULLANMADAN ORGANİK BOYALARIN FOTOKATALİTİK BOZUNMASINA ÇÖZELTİ KARIŞTIRMA HIZI VE pH'IN ETKİSİ

INFLUENCE OF THE SOLUTION STIRRING RATE AND pH ON THE PHOTO DEGRADATION OF ORGANIC DYE WITHOUT USING PHOTOCATALYST FOR ENVIRONMENTAL CLEANING

Dr. Sultan GÖKTAŞ

Harran University, Faculty of Arts and Science, Department of Chemistry, Şanlıurfa, Turkey
sultangoktas@harran.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-7084-9710>

Dr. Öğr. Üyesi Gülsen ŞAHİN

Adiyaman University, Faculty of Education, Department of Mathematics and Science
Education, Adiyaman, Turkey
gsahin@adiyaman.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1212-1331>

Prof. Dr. Abdullah GÖKTAŞ

Harran University, Faculty of Arts and Science, Department of Physics, Şanlıurfa, Turkey
agoktas@harran.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-7084-9710>

ÖZET

Tekstil atık sularında bulunan temel organik boyaların (Metilen mavisi (MM), Metilen turuncusu, Rodamin B vb.) doğada yaşayan canlılara zarar vermemesi için uzun yıllardır çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalar genellikle ucuz ve doğaya zarar vermeyen yöntemlerin geliştirilmesinin yanında kullanılacak fotokatalizörlerinde çevreye uyumlu ve zarar vermeyen malzemelerden seçilmesi önem arz etmektedir. Son zamanlarda en çok kullanılan yöntemler arasında gelişmiş oksidasyon yöntemi gelmektedir. Bu yöntem fotokatalitik olay veya fotoliz olarakta bilinmektedir. Fotokatalitik olayda fotokatalizör (ZnO, TiO₂, SnS vb.) fotokatalizöre uygun ışık (görünür ışık veya Uv ışık), uygun sıcaklık (20-80 °C), pH (4, 7 ve 11), fotokatalizör miktarı, kullanılacak organik boyanın konsantrasyonu, organik boya çözeltisinin karıştırma hızı, ortamın oksijen miktarı v.b. faktörler önemli rol oynamaktadırlar. Bu çalışmada özellikle ortam sıcaklığının ve karıştırma hızının MM organik boyasının yıkım performansına etkisi görünür ışık altında diğer operasyonel parametreler sabit tutularak incelenmiştir. Özellikle pH=11’de MM fotokatalitik bozunum yüzdeki hemen hemen 120 ve 90 dakika için yaklaşık %100’e erişmiştir. Bununla birlikte çözelti karıştırma hızının da verime önemli ölçüde etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, operasyonel parametrelerin organik boyaların yıkılmasında önemli rol oynadığını ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Fotoliz, Fotokatalizör, pH, Metilen mavisi, Fotokatalitik verim, Karıştırma hızı

ABSTRACT

Studies have been continuing for many years to ensure that the basic organic dyes (Methylene blue (MB), Methylene orange, Rhodamine B, etc.) found in textile wastewater do not harm living creatures in nature. In these studies, in addition to the development of cheap and environmentally friendly methods, it is important to choose environmentally compatible and non-harmful materials for the photocatalysts to be used. Among the most used methods recently is the advanced oxidation method. This method is also known as photocatalytic event or photolysis. In the photocatalytic process, the photocatalyst (ZnO, TiO₂, SnS, etc.) is affected by the appropriate light (visible light or UV light), the appropriate temperature (20-80 °C), pH (4, 7 and 11), the amount of photocatalyst, the concentration of the organic dye to be used, the composition of the organic dye solution. mixing speed, oxygen amount of the environment, etc. factors play an important role. In this study, the effects of ambient temperature and mixing speed on the destruction performance of MB organic dye were examined under visible light, keeping other operational parameters constant. Especially at pH=11, MB photocatalytic degradation on the facet of the photocatalyst reached 100 at % almost in 90 and 120 min. However, it has been observed that the solution mixing speed also has a significant effect on the photocatalytic efficiency. These results revealed that operational parameters play an important role in the degradation of organic dyes.

Keywords: Photolysis, Photocatalyst, pH, Methylene blue, Photocatalytic efficiency, mixing speed.

Introduction

Nowadays degradation of the toxic textile dyes (MB, Methylene orange, Rhodamine B, etc.) within the wastewater is so getting more recognition because the increased population and hence enhanced rapid urbanization. To get out of this pollutant water some considerable traditional methods (coagulation, flocculation, reverse osmosis, adsorption on the activated carbon, microbiological decomposition, ozonation, H₂O₂/UV procedure, ion exchange method ultra-filtration and chemical methods like photosensitized oxidation, adsorption as well as biodegradation) are offered (Chen et al. 2020; Tan Y.N., Wong C.L., & Mohamed A.R., 2011) Nonetheless, the mentioned methods have only been acquired by shifting organic materials from H₂O to one more form of solid waste complex resulting in a new subordinate contamination. This requires an extra use of solid wastes and redemption of adsorptive, bringing about a further cost to the activity. Moreover, these routes also have a number of

disadvantages as early reported in the studies of Chen et al. (2011) and Bodzek et al. (2012). The above-mentioned toils in tasking have brought the rapid event of Advanced Oxidation Process (AOP) as inventive mechanization for usage of wastewater and it is recent. Therefore, they have developed to get an enhanced demand for well-organized management of wastewater. Among all the wastewater cleaning methods, photocatalytic action is known as one of the most advanced oxidizing techniques, taking huge interest due to its continual noticing to drive brutal group as H₂O split, photocatalyzed of excrete and purify the airy pollutants (Bodzek M. & Rajca M., 2012).

The catalysis emanates redox interaction leading to through the light-induced hole and electron created over the inducement. During the response between the hole and electron, mobile radicals such as hydroxyl and superoxide are created as well like non-toxic products (Bodzek M. & Rajca M., 2012; Goktas S., 2024). For advancing photocatalysis, the selection of disciplined material candidates to use whole spectra of daylight is highly essential. There have been a number of operating parameters affecting the photolysis of textile colors such as the pH of the solution bath of organic dyes, concentration of organic dyes/catalyst, the strength/kind of utilized light, the temperature of the environment, the distance between the light and solution bath of textile color, mixing rate of the processed dye solution, as well the used kind of organic dyes (Göktas S. & Gülsen S., 2023; Sahin, G., Goktas, A., & Aslan, E., 2024). The impacts of them were previously reported in several studies. Nevertheless, among them, the effects of certain pH values and the magnetic stirring rate of the dye solution bath under visible light irradiation have rarely been scrutinized.

Up to date, there have been no study on the photodegradation of the MB under visible irradiation to investigate the role of magnetic mixing rates. So, different from our previous study, it is aimed to research the effect of the magnetic mixing rates (300 and 600 rpm) on the degradation of the MB at certain pH value (4, 7 and 11) under the illumination of the visible light.

EXPERIMENTAL and METOD

Materials

Solid MB (Purity \geq 95%, F.W: 319.86 g/ mol, melting point: 100–110 °C) with chemical formula of C₁₆H₁₈ClN₃S·xH₂O was purchased by Isolab chemicals. Sodium hydroxide (NaOH, 0.01 n/L) and glacial acetic acid (GAA) were bought from Merck company. During the experiments, pure water was utilized. The used whole chemicals were analytical reagent grade and without any purification.

MB solution was prepared by using the following process; 0.063 mg MB was dissolved in 100 ml pure water by utilizing a magnetic stirrer at room temperature (measured as 30 °C). Then, the mixture was stirred well until it get desired dissolution. After that the pH meter was used (HI2211 pH/ORP) to measure the value of pH of this mixture. For that the desired content of NaOH (0.01–0.1 ml) and GAA (0.01–0.05 ml) were used to regulate the desired pH (4, 7,

and 11). Finally, to investigate the role magnetic mixing rate (300 and 600 rpm) the MB solution bath was located on the magnetic stirrer

Characterization methods

The absorbance of the MB solution before and after different 30-min UV-lamp radiation exposure time was guided and examined using UV-Vis spectroscopy (Perkin Elmer Lambda 25) based on the MB major distinctive absorption peak at 664 nm. Using any photocatalyst, the photocatalytic activity of MB was tabulated by the following equation (Şahin, G., & Göktaş, S. (2024);

$$\eta = [(1-(C/C_0))] \times 100 \quad (1)$$

Here, C_0 and C represent the major absorption peak of MB and the intensity of MB before and after chatalysis, respectively.

DISCUSSIONS AND RESULTS

The intensity of the maximum peak corresponding to the 664nm wavelength in the UV-Vis spectrum of the methylene blue solution was accepted as the C_0 concentration. On the other hand, it was observed that the peak C_0 concentration corresponding to this wavelength decreased over time under light, and this decrease C_0 was observed. The graphs of the change in C_0 ratio over time were given in Fig. 1 for the pH=4 (asidic), 7 (neutral) and 11 (basic) and at magnetic stirring rate of 300 rpm.

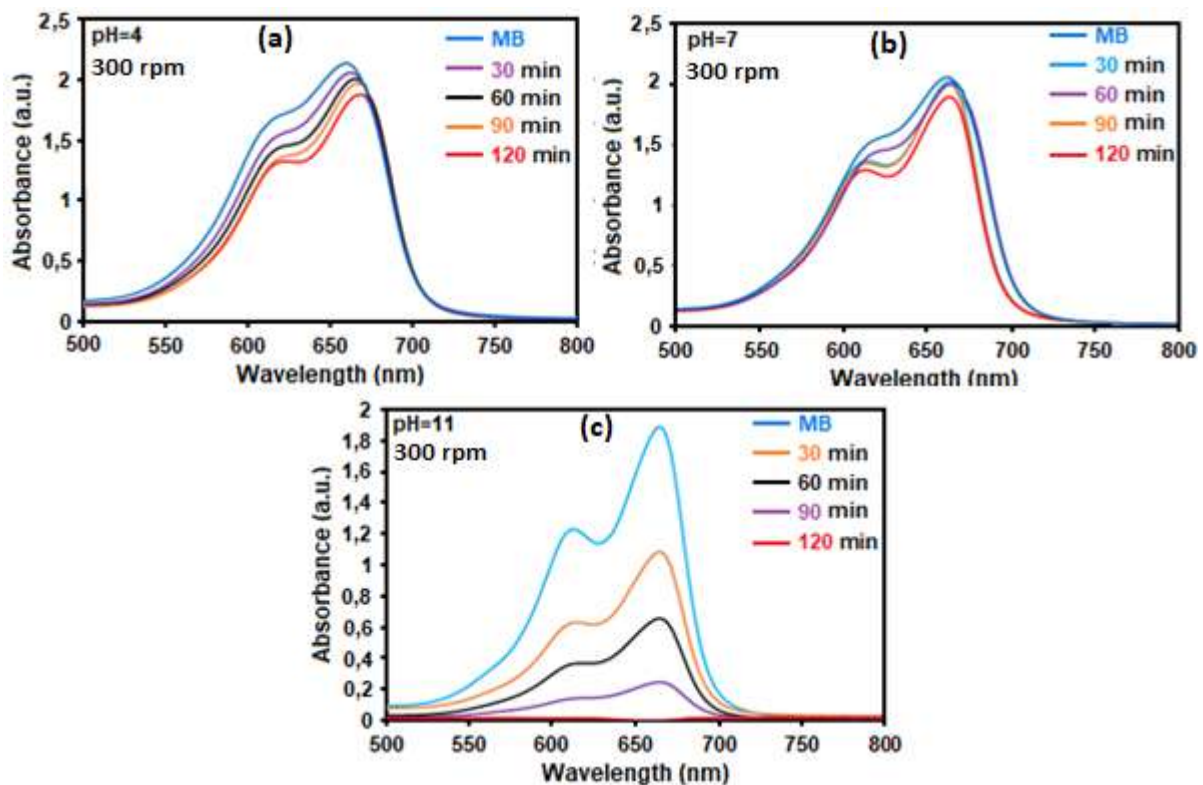


Fig. 1. UV-Vis absorption spectra of the MB under solar radiation source at 300 rpm and different pH values of 4 (a), 7 (b), and 11 (c), respectively.

The decreases in the main peak reflect the photodegradation of the MB. The photodegradation η of MB was tabulated using equation (1) as 8.9, 5.3, and 99.8 at % for the pH values of the 4, 7, and 11, respectively. These results reflect that the pH of the solution is very crucial for the degradation of MB dye. The observed results are in good agreement with previously reported ref. (Goktas S., 2024; Aba, Z., Goktas, A., & Kilic, A., 2024).

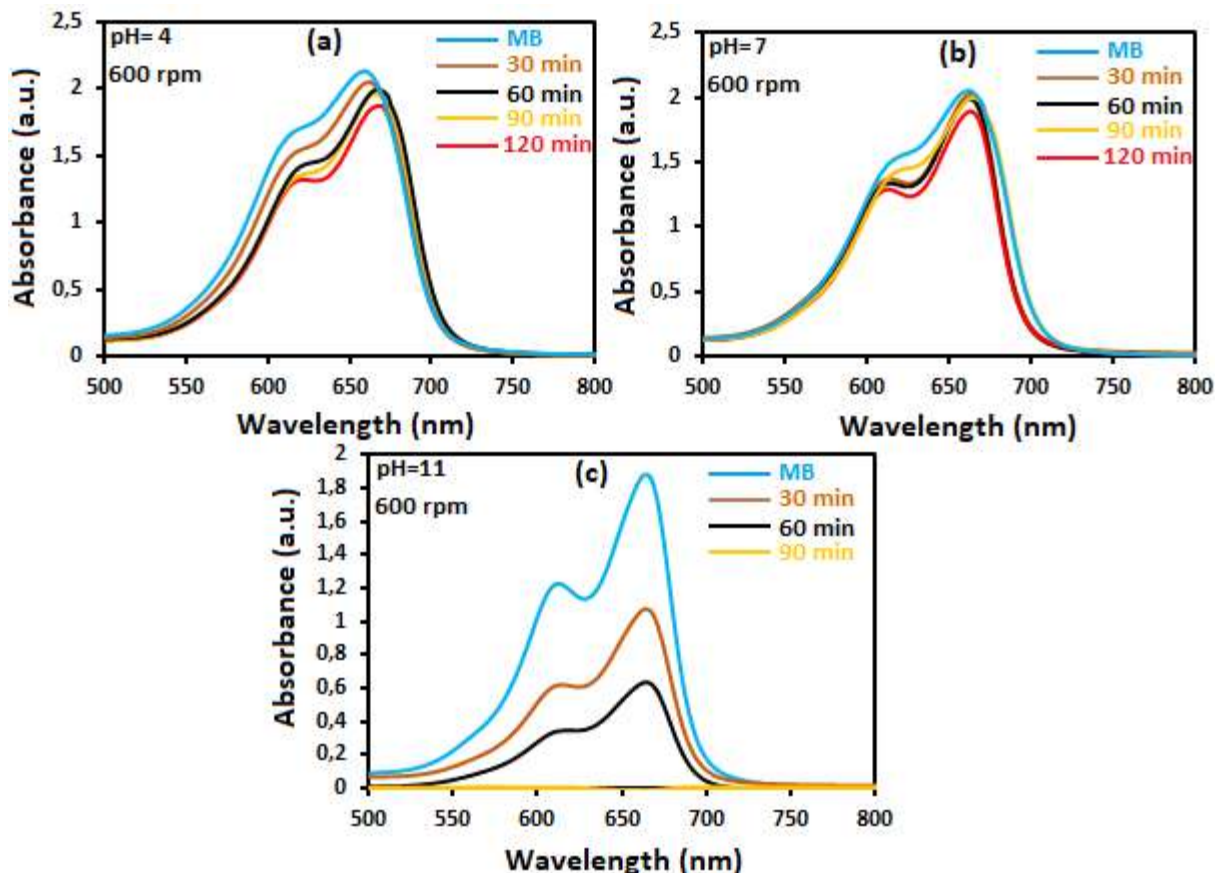


Fig. 2. UV-Vis absorption spectra of the MB under solar radiation source at 600 rpm and different pH values of 4 (a), 7 (b), and 11 (c), respectively.

Fig.2 shows the variation of the MB absorbance depending on wavelengths at different MB solution bath's pH and 600 rpm magnetic stirring rate. Especially at pH=11 the degradation of MB was calculated about 100 at. % in 90 min. However, in acidic and neutral conditions, that is pH value 4 and 7, no important variation was observed. The η values were tabulated as 11.9, 8.3 at.%. The increased η values were attributed to the enhanced magnetic stirring rate from 300 to 600 rpm due to enhanced the amount of dissolved oxygen in the solution (Jin-Ming W. & Wei W. 2020; Goktas, S., & Goktas, A. 2021; Göktaş, S.,2023).

KAYNAKLAR

Aba, Z., Goktas, A., & Kilic, A. (2024). Characterization of $Zn_{1-x}La_xS$ thin films; compositional, surface, optical, and photoluminescence properties for possible optoelectronic and photocatalytic applications. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 109(1), 260-271.

Bodzek M., Rajca M. (2012). Photocatalysis in the treatment and disinfection of water, Part I. Theoretical backgrounds. *Ecological Chemistry and Engineering* 19:489-512.

Chen D., Cheng Y., Zhou N., Chen P., Wang Y., Li K., Huo S., Cheng P., Peng P., Zhang R., Wang L., Liu H., Liu Y., Ruan R. (2020). Photocatalytic degradation of organic pollutants using TiO_2 -based photocatalysts: a review. *Journal of Cleaner Production* 268:121725.

Goktas S. (2024). Synergic Effects of pH, Reaction Temperature, and Various Light Sources on the Photodegradation of Methylene Blue Without Photocatalyst: A Relatively High Degradation Efficiency. *Chemistry Africa* 7:4425–4437 4427.

Göktaş, S. (2023). Metilen Mavisi Organik Boyasının Güneş Işığında Katalizörsüz Yıkımı. *International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences*, 1, 364–367

Göktaş, S., & Sahin, G. (2023). Methylene blue concentration and pH-induced photocatalytic degradation of methylene blue without photocatalyst under visible light. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(6), 176-181.

Goktas, S., & Goktas, A. (2021). A comparative study on recent progress in efficient ZnO based nanocomposite and heterojunction photocatalysts: A review. *Journal of Alloys and Compounds*, 863, 158734.

Jin-Ming W., Wei W. (2020). Catalyzed degradation of azo dyes under ambient conditions, *Environmental Science Technology*, 44; 9123–9127.

Şahin, G., Goktas, A., & Aslan, E. (2024). A new way to tune photocatalytic activity, surface morphology, and structural/optical parameters of ZrO_2 thin films using different Zr sources along with annealing temperature and film thickness. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 112(2), 425-443.

Şahin, G., & Göktaş, S. (2024). Calculations of Structural Parameters and Optical Constants of Size Dependent ZrO_2 . *Gazi Journal of Engineering Sciences (GJES)/Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1).

Tan Y.N., Wong C.L., Mohamed A.R. (2011). An overview on the photocatalytic activity of nano-doped- TiO_2 in the degradation of organic pollutants. *ISRN Materials Science* 2011:1-18.

KİMYASAL OLARAK ÜRETİLEN ZnO NANOÇUBUKLARININ FOTOKATALİTİK
ÖZELİKLERİ: ÇÖZELTİ KARIŞTIRMA HIZININ ETKİSİ
PHOTOCATALYTIC PROPERTIES OF CHEMICALLY DERIVED ZnO NANORODS:
IMPACT OF SOLUTIN STIRRING SPEED

Dr. Öğr. Üyesi Gülsen ŞAHİN

Adiyaman University, Faculty of Education, Department of Mathematics and Science
Education, Adiyaman, Turkey
gsahin@adiyaman.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1212-1331>

Prof. Dr. Abdullah GÖKTAŞ

Harran University, Faculty of Arts and Science, Department of Physics, Şanlıurfa, Turkey
agoktas@harran.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-7084-9710>

ÖZET

Bu çalışmada sol-jel yöntemi kullanılarak nano çubuk ZnO ince filmleri 500 °C'de hava ortamında cam alt taşlar üzerinde hazırlandı. Hazırlanan ZnO nanoyapıların yapısal, yüzeysel ve fotokatalitik özellikleri X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı spektroskopinin (EDS) ve UV-Vis spektrometresi aracılığıyla incelendi. Elde edilen nanoyapıların XRD sonuçları bu yapıların hegzagonal ZnO kristal yapısında kristallendiğini ortaya koydu. SEM analizleri film yüzeylerinin çubuksu nanoparçacıklardan oluştuğunu sergiledi. Film yüzeylerinin yoğun ve nano parçacıkların film yüzeyinde rastgele dağıldığı gözlemlendi. EDS analiz sonuçları ZnO filmlerinde Zn ve O atomlarının olduğunu gösterdi. Yapılan fotokatalitik deneylerinde ZnO nanoçubuklarının fotokatalitik veriminin çözelti karıştırma hızıyla önemli bir oranda arttığı gözlemlendi. Elde edilen yüksek verim nanoçubukların yüksek yüzey-hacim oranına ve çözelti karıştırma hızının ortak etkisine bağlanmıştır. Bu sonuçlar ZnO nanoçubuklarının UV-ışığına hassas optoelektronik ve fotokatalitik uygulamalarda kullanılabilme potansiyeline sahip olduğunu yansıtmaktadır.

Anahtar kelimeler: ZnO nanoçubuk, Fotokatalitik, Fotokatalitik verim, Metilen mavisi, Karıştırma hızı.

ABSTRACT

In this study, ZnO nanorod thin films were prepared on the glass substrates in air at 500 °C using the sol-gel method. Structural, facet and photocatalytic properties of the prepared ZnO nanorods were examined by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS) and UV-Vis spectrometry. XRD results of the obtained

nanorods revealed that these structures crystallized in the hexagonal ZnO crystal structure. SEM analysis revealed that the film surfaces were composed of rod-like nanoparticles. It was observed that the film surfaces were dense, and the nanorods were randomly distributed on the film surface. EDS analysis results showed that there were Zn and O atoms in the ZnO films. Photocatalytic experiments showed that the photocatalytic efficiency of ZnO nanorods increased significantly with the solution mixing speed. The obtained high efficiency was attributed to the high surface-to-volume ratio of the nanorods and the combined effect of the solution stirring speed. These results reflect that the ZnO nanorods have the potential to be used in UV-light sensitive optoelectronic and photocatalytic applications.

Keywords: ZnO nanorods, Photocatalysis, Photocatalytic efficacy, Methylene blue, Stirring speed.

Introduction

Recently, a number of precautions have started to be taken due to increasing environmental pollution. Physical, chemical and biological techniques have been developed to clean wastewater, which increases especially with the increasing population. Among these techniques, the advanced oxidation process (AOP) is a chemical process and has been widely researched in recent years. Selection of the right photocatalyst plays an important role in this method. Zinc oxide (ZnO) is one of the important photocatalysts. It is an important semiconductor material, which frequently used in optoelectronic and photocatalytic applications such as solar cells, photocatalysts, light-emitting diodes and sensors (Akçay N., Algün G., Kılıç N. U., Shawuti S., Can M. M., 2017; Goktas, A., 2018; Babur Y., Tumbul A., Yıldırım M., 2018; Jannesari M., Asemi M., Ghanaatshoar M., 2017). There are different ways to adapt the structural, surface and optical properties of ZnO to specific applications. These ways include doping, production technique conditions, type and concentration of chemicals used (Goktas, S., Tumbul, A., Goktas A., 2023; Ashraf R., Riaz S., Bashir M., Khan U., Naseem S., 2014; Goktas, A., Mutlu, I. H., Yamada, Y., & Celik, E., 2013).

Great efforts have been made to prepare ZnO-based thin films. For example, ZnO was produced by spray sputtering technique to examine the effect of starting chemicals on its structural, morphological and optical properties (Bacaksız, et al., 2007). It is reported taht the effect of the used amount of mono ethanol amine has huge effects on the structural and optical properties of the ZnO thin film. For example, the crystallization and surface morphology of the obtained ZnO thin films partially varied (Tumbul, A., 2019; Goktas, A., Aslan, F., & Mutlu, I. H., 2014). Sivakumar et al. (2012) have also observed similar effects: according to this study, when the pH of ZnO was increased from 4 to 10, the crystalline quality and grain size of ZnO increased. This is proved by XRD studies. In another study, the effect of the number of coatings on structural, surface and optical properties of ZnO thin films was examined. Nanorods, which were formed especially due to the starting chemical used (zinc chloride), were produced by the sol-gel method (Aslan, F., Tumbul, A., Göktaş, A., 2016).

It is known that the methylene blue (MB) is one of the major organic dyes that are harmful to living life when it used in textile applications. To decrease these effects several techniques have been utilized. Among them AOP is one most efficient technique, used in the presented technique to degrade the MB organic dye (Goktas, S., & Goktas, A., 2021; Goktas S., 2024). Therefore, this study, we have used ZnO nanorods due to their high surface volume ratio. In addition, to examine the affect of the stirring speed on the photocatalytic activity of the ZnO nanorods for the first time, this study has been done under UV-light radiation.

EXPERIMENTAL and METOD

Materials and Film preparation

ZnO nanorod thin films were produced by using Zinc chloride [ZnCl₂] (Merck, 99.99 %) chemical powder and were grown on glass substrates using the sol-gel dip coating technique. For this purpose, to prepare film samples, Zn chloride and ethylene glycol mono ethyl ether [CH₃OCH₂CH₂OH] (Aldrich 99.8 %) as well methanol starting chemicals were used in the specified purity without any pretreatment. Zn chloride chemical salts were prepared in ethylene glycol mono methyl ether (2-Methoxyethanol) solvent, in separate beakers and the chemical salts were dissolved by mixing the solutions. The pH of the obtained transparent solutions was adjusted by using ethanolamine. The final mixture solution was mixed with a magnetic stirrer for 24 hours under room conditions. The prepared solution was on pre-cleaned glass substrates by sol-gel immersion method at 400 °C in air. The deposited film was annealed at 500 °C for 1 h in air to crystallize the film samples.

For preparation of MB solution, 1.25 mg/L MM dye was dissolved in pure water with a magnetic stirrer in room conditions. The solution was mixed until it sufficiently dissolved. The pH of the mixture was regulated by NaOH. According to previous studies in the literature, MB shows the best photocatalytic activity at pH = 11 (Goktas S., 2024; Göktaş, S., 2023; Göktaş, S., & Sahin, G. 2023).

Characterization methods

An x-ray diffraction-XRD (Rigaku Ultima III (40 kV, 40 mA and 1.54 Å)) diffractometer was used to investigate the crystal structures and possible oxide or foreign phases of ZnO thin films produced by the sol-gel coating method as detailed above. The surface morphology of ZnO thin films were analyzed by scanning electron microscope-SEM (Zeiss Evo 50, 200 kV). Additionally, elemental analysis was performed using energy dispersive x-ray (EDX) connected to SEM tool. Optical and photocatalytic behaviors of ZnO thin films were examined with a UV-Vis spectrophotometer (Perkin Elmer 45) in the wavelength range of desired.

The absorbance of the MB solution before and after different 30-min UV-lamp radiation exposure time was guided and examined using UV-Vis spectroscopy (PerkinElmer Lambda 25) based on the MB major distinctive absorption peak at 664 nm. Using ZnO photocatalysts, the photocatalytic activity of MB was calculated with the formula $\eta = [(1-(C/C_0))] \times 100$. Here, C₀

and C represent the main absorption peak of MB and the intensity of MB before and after photolysis, respectively.

Discussions and Results

The XRD result of ZnO-nanorod thin film is given in Figure 1. XRD result showed that the ZnO-nanorods thin films crystallized in the (002) oriented hexagonal ZnO crystal structure. It also showed that the film has polycrystalline nature (Aslan, F., Tumbul, A., Göktaş, A., 2016; Tumbul, A., 2019). Additionally, no foreign phase was found in the XRD analysis. The average crystal size calculated according to the Tauc equation is approximately 48 nm for ZnO nanorods.

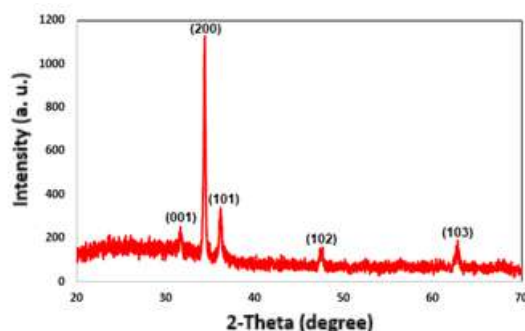


Figure-1. XRD pattern of the ZnO nanorods

In Figure-2a, SEM image of the nanorod film sample synthesized with zinc chloride precursor is given. As seen from this figure, the film prepared with zinc chloride has ZnO-nano rods and has dense surface, although it is slightly rough. The size of ZnO nanorods are relatively higher than the cerystallite size.

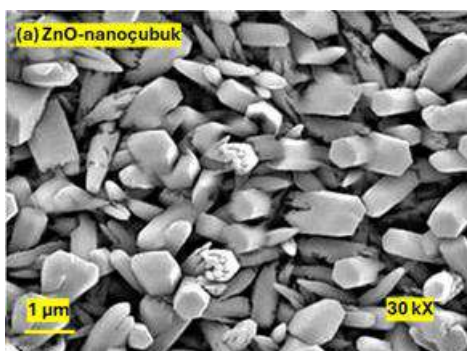


Figure-2. SEM facet micrograph of the ZnO nanorods

EDX analysis showed that in addition to the presence of Zn and O atoms in the films, there was also a Si atom (see Figure 3). As is known, the Si atom originates from the glass substrate used. The Zn and O ratios observed in the films are around 75, 65 and 24.35 %, respectively (see inset of Figure 3) and agree with the literature (Goktas, S., Tumbul, A., Goktas A., 2023).

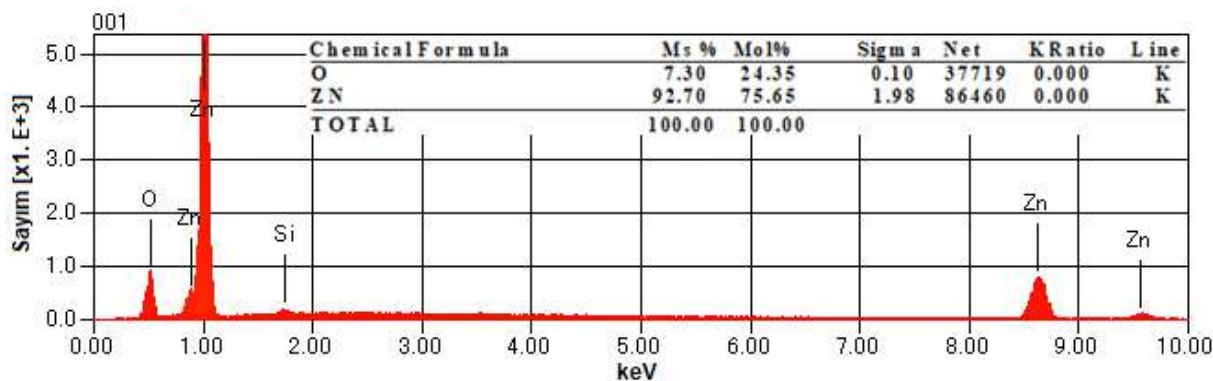


Figure-3. EDX spectra of the ZnO nanorods (inset shows the elemental analysis).

For photocatalytic studies, the amount of ZnO-nanorod photocatalyst thin films immersed in MB solution was determined as ~0.4 mg/ml. The pH and concentration of the MB solution were adjusted to 11 with sodium hydroxide and pure water at 10g/L. The distance of the UV LED-lamp (64W) to the MB solution container was set as 3 cm. Additionally, the dimensions of all film-coated glasses in the solution were set to 1cm x6 cm. MB solution temperature was kept constant at room temperature. Before UV lamp radiation, the MB solution containing ZnO-nanorod photocatalyst was meticulously mixed with a magnetic stirrer and kept in the dark for 30 minutes to ensure absorption-deabsorption balance. The efficiency ZnO-nanorod photocatalyst was calculated using the formula $[C-C_0/C_0] \times 100$; where C_0 and C are the optical absorption value of the MB at the characteristic 664 nm wavelength before and after exposure to UV light radiation, respectively (Poongodi, G., Anandan, P., Kumar, R.M., 2015; Göktaş, S., 2024).

In Figure 4a-b, the absorption plot of the MB solution exposed to UV light with photocatalyst at 30-minute intervals was given. As can be seen from the figure, the intensity of the MB major peak decreases monotonically over time. This is due to the excitement of ZnO-nanorod photocatalyst by UV light and the formation of electron-hole pairs. While some of the excited electrons return to the valence band through recombination, the remaining amount reacts with O_2 and OH^- on the surface, leading to the formation of reactive $\cdot O_2^-$ and $\cdot OH$. Finally, the MB organic molecules react with these reagents and turn into CO_2 and H_2O (Poongodi, G., Anandan, P., Kumar, R.M., 2015; Goktas, S., & Goktas, A., 2021).

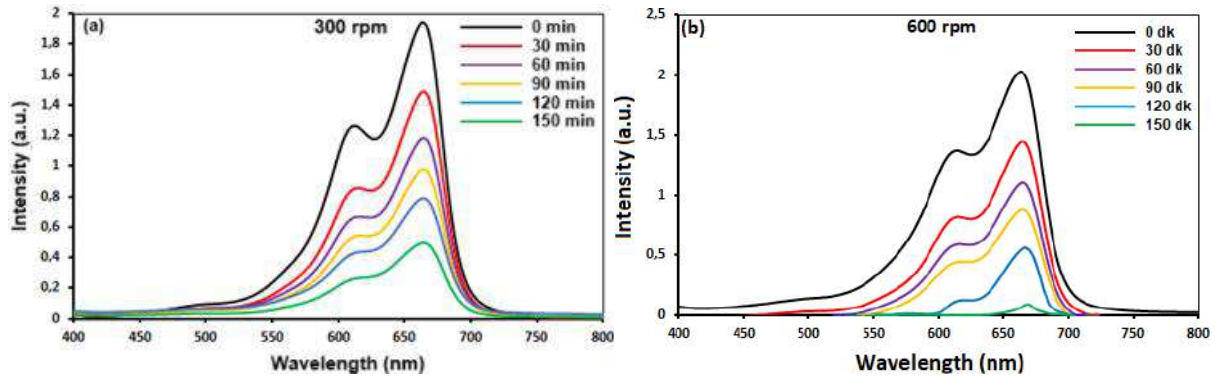


Figure-4. Fotodegradación de MB por nanorods de ZnO para diferentes velocidades de agitación magnética de (a) 300 y (b) 600 rpm bajo irradiación de luz UV en condiciones ambientales.

The efficiencies of ZnO-nanorod photocatalyst calculated using the photocatalyst efficiency formula mentioned above were found to be approximately 80 and 99 % for magnetic stirring speed of 300 and 600 rpm in 150 min, respectively. This result is compatible with the literature, but there is a slight difference because the amount of photocatalyst and MB concentration used in this study are relatively different compared to other studies. Additionally, the power and intensity of the UV-LED lamp used are low. An important result is that, compared to other studies, although the amount of photocatalyst material was low and low-intensity light was used, the MB degradation rate was still evident at the expected level (Chong MN, Jin B, Chow CWK, Saint C., 2020; Goktas, S., & Goktas, A., 2021).

REFERENCES

Akçay N., Algün G., Kılıç N. U., Shawuti S., Can M. M. (2017). Europium dependent absorption properties of $Zn_{12}(y+0.01)(Al_{0.01}, Euy)O$ ($y = 50.00, 0.01, 0.03$ and 0.05) thin films grown on the soda-lime glass substrates by spin coating. *Journal of Materials Science: Materials in Electronic*, 28, 4492–4497.

Ashraf R., Riaz S., Bashir M., Khan U., Naseem S. (2014). Structural and Magnetic Properties of Mn/Fe co-Doped ZnO Thin Films Prepared by Sol–Gel Technique. *IEEE Transaction Magnetism* 50, 2401204.

Aslan, F., Tumbul, A., Gökteş, A. (2016). Growth of ZnO nanorod arrays by one-step sol–gel process. *Journal of Sol-Gel Science Technology*, 80, 389–395, 2016.

Bacaksız, E., Parlak, M., Tomakin, M., Ozcelik A., Karakız, M., & Altunbas, M. (2008). The effects of zinc nitrate, zinc acetate and zinc chloride precursors on investigation of structural and optical properties of ZnO thin films. *Journal of Alloys Compds*, 466, 447–450.

Babur, Y., Tumbul, A., Yıldırım, M. (2028). Chemically derived $Zn_{0.90-x}Mn_{0.05}Fe_{0.05}Al_xO$ thin films: Tuning of crystallite/grain size, optical and dielectric constants and ferromagnetic properties through Al substitutions, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 84, 1-9.

Chong MN, Jin B, Chow CWK, Saint C. (2020). Recent developments in photocatalytic water treatment technology: a review. *Water Res* 44:2997-3027.

Goktas, S., Tumbul, A., Goktas A. (2023). Growth Technique–Induced Highly C-Axis-Oriented ZnO: Mn, ZnO: Fe and ZnO: Co Thin Films: A Comparison of Nanostructure, Surface Morphology, Optical Band Gap, and Room Temperature Ferromagnetism. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 36 (10), 1875-1892.

Goktas, A. (2018). High-quality solution-based Co and Cu co-doped ZnO nanocrystalline thin films: Comparison of the effects of air and argon annealing environments, *Journal of Alloys and Compounds* 735, 2038-2045.

Goktas, A., Aslan, F., & Mutlu, I. H. (2014). Effect of preparation technique on the selected characteristics of $Zn_{1-x}Co_xO$ nanocrystalline thin films deposited by sol–gel and magnetron sputtering. *Journal of alloys and compounds*, 615, 765-778.

Goktas, A., Mutlu, I. H., Yamada, Y., & Celik, E. (2013). Influence of pH on the structural optical and magnetic properties of $Zn_{1-x}Mn_xO$ thin films grown by sol–gel method. *Journal of alloys and compounds*, 553, 259-266.

Goktas S. (2024). Synergic Effects of pH, Reaction Temperature, and Various Light Sources on the Photodegradation of Methylene Blue Without Photocatalyst: A Relatively High Degradation Efficiency. *Chemistry Africa* 7:4425–4437 4427.

Goktas, S., & Goktas, A. (2021). A comparative study on recent progress in efficient ZnO based nanocomposite and heterojunction photocatalysts: A review. *Journal of Alloys and Compounds*, 863, 158734.

Göktaş, A. (2007). Sol-jel metodu ile manyetik film yapımı ve karakterizasyonunun incelenmesi. Master's thesis, Harran University Institute of Science and Technology, Şanlıurfa.

Göktaş, A. (2013). II-IV tabanlı seyreltilmiş magnetik yarı iletken ince filmlerin yapısal, optiksel ve manyetik özelliklerinin incelenmesi/Investigation of structural, optical and magnetic properties of II-IV based diluted magnetic semiconductor thin films. Doctoral dissertation, Harran University Institute of Science and Technology, Şanlıurfa.

Göktaş, S. (2024). Synergic Effects of pH, Reaction Temperature, and Various Light Sources on the Photodegradation of Methylene Blue Without Photocatalyst: A Relatively High Degradation Efficiency. *Chemistry Africa*, 7, 4425–4437.

Göktaş, S. (2023). Metilen Mavisi Organik Boyasının Güneş Işığında Katalizörsüz Yıkımı. *International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences*, 1, 364–367

Göktaş, S., & Sahin, G. (2023). Methylene blue concentration and pH-induced photocatalytic degradation of methylene blue without photocatalyst under visible light. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(6), 176-181.

Jannesari M., Asemi M., Ghanaatshoar M. (2017). Sol–gel preparation of Fe and Al co-doped ZnO nanostructured materials *Journal of Sol-Gel Science Technology*, 83, 181–189.

Poongodi, G., Anandan, P., Kumar, R. M., Jayavel, R. (2015). Studies on visible light photocatalytic and antibacterial activities of nanostructured cobalt doped ZnO thin films prepared by sol–gel spin coating method. *Spectrochim. Acta A Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 148, 237-243.

Goktas, A., Modanlı, S., Tumbul, A., Kilic, A. (2022). Facile synthesis and characterization of ZnO, ZnO: Co, and ZnO/ZnO: Co nano rod-like homojunction thin films: Role of crystallite/grain size and microstrain in photocatalytic performance, *Journal of Alloys and Compounds*, 893, 162334.

Tumbul, A. (2029). Effect of Monoethanolamine Content on the Crystallinity of ZnO Thin Films Süleyman Demirel University Faculty of Arts and Science *Journal of Science*, 14 (1), 155–164.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF RADIATION DAMAGE-INDUCED PHASING ON INSULIN BY MOLECULAR DYNAMICS SIMULATION METHOD

Asis. Prof. Dr. Mehmet Murat YAŞAR

Harran University, Vocational School of Health Services, Medical Services Department,

muratyasar@harran.edu.tr - 0000-0001-6211-0350

ABSTRACT

Insulin is a peptide hormone produced by the insulin gene. Insulin is responsible for regulating protein metabolism by assisting the absorption of glucose from the blood into various organ cells. Circulating insulin is also a hormone that affects protein synthesis in tissues. Crystallographic methods for determining the structure of other biomolecules have also been used for insulin. Radiation used in X-ray crystallographic method can sometimes affect some amino acids in the structures. Radiation Damage Induced Phasing (RIP) is one of the methods used to eliminate radiation-induced damage. In this study, it was aimed to determine the effect of the RIP method applied to insulin on the protein structure of insulin by simulation technique. GROMACS-2022 was preferred as the simulation program and 200 ns simulations were performed. Various analyses were performed using the outputs obtained as a result of the simulation. The analyses showed that the RIP method caused a difference in the fluctuation of some amino acids on the insulin structure.

Key Words: Insulin, Molecular Dynamics, RIP, Simulation.

1. INTRODUCTION

Insulin is a hormone that has been studied for many years and has a high importance in diabetes treatments. It has a protein structure consisting of a total of 51 residues and 2 chains [1]. According to studies, it is estimated that there are more than 500 million diabetic patients as of 2021 [2]. Insulin has an effect on many tissues and remains popular as a research element. In clinical and in-vitro studies, issues such as physiological, physiopathological effects of insulin on various tissues, effects on cell membrane-bound receptors have been investigated. Especially in skeletal-muscular systems, liver, different cell types and signalling mechanisms have been investigated [3]. X-ray crystallographic methods are used to determine the protein structures of biomolecules. The radiation dose used in X-ray crystallographic methods can cause radiation damage on structures. Various phasing methods are used to minimise the radiation damage that

may occur. One of these methods is the Radiation Damage Induced Phasing (RIP) technique [4]. In the RIP method, experiments are performed for the optimisation of structures that are likely to be damaged by radiation. This technique was reported to be useful in the early 2000s to obtain phase information for certain effects of radiation damage [5].

In this study, whether the RIP technique applied to the insulin protein, whose structure was determined by x-ray crystallographic method, affects the working mechanism of the protein was investigated by Molecular Dynamic Simulation (MDS) method. In the study, 2bn1 (insulin structure before RIP) and 2bn3 (insulin structure after RIP) coded insulin structures downloaded from Protein Data Bank were used [4]. Web-based interactive CHARMM-GUI was used to prepare the input files to be used in MDS. With the input files obtained, 200 ns simulations were performed for each protein structure through the GROMACS-2022 simulation programme. According to the results obtained, it was observed that there was a change in the movements of some amino acids.

2. MATERIAL & METHOD

In this study, insulin protein structures with pdb id codes 2bn1 and 2bn3 (Fig. 1) published in the RCSB Protein Data Bank were download [6]. The downloaded pdb extension files were uploaded to the CHARMM-GUI web server and input files were prepared [7]. While preparing the input files, box dimensions of 10*10*10 Angstrom were used. The body temperature was selected as 310 K. 15% NaCl ions were added [8,9].

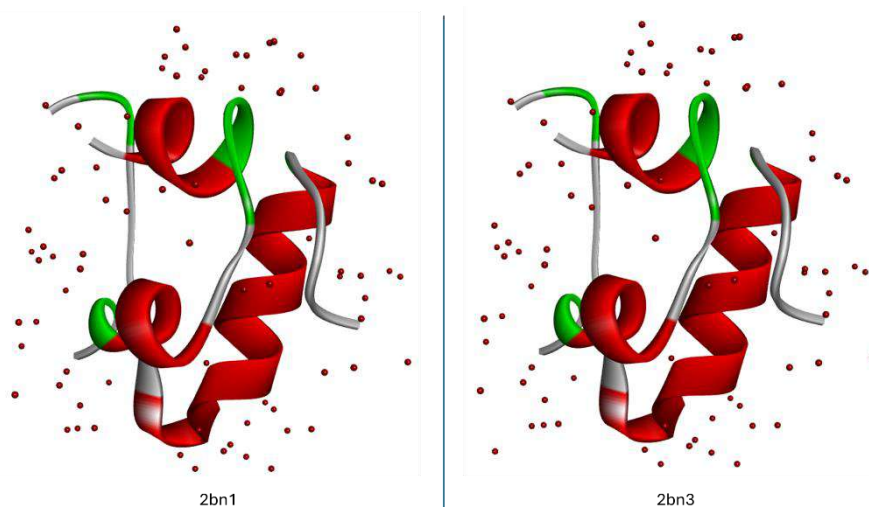


Figure 1. Protein structures of Insulin.

GROMACS-2022 simulation programme was used in the study. For both insulin protein structures (pdb_id: 2bn1, 2bn3), minimization was performed in 5000, equilibration in 125000 and production in 100 million steps. The production step was performed for a duration of 200 ns. Root Mean Square Deviation (RMSD), Root Mean Square Fluctuation (RMSF) and Radius of Gyration (Rg) analyses were performed using the simulation outputs.

3. RESULTS

The RMSD, Rg and RMSF plots obtained using the simulation outputs are as shown in Fig.- 2,3,4. Black lines in the graphs belong to 2bn1 (before RIP) and red lines belong to 2bn3 (after RIP) insulin protein structures.

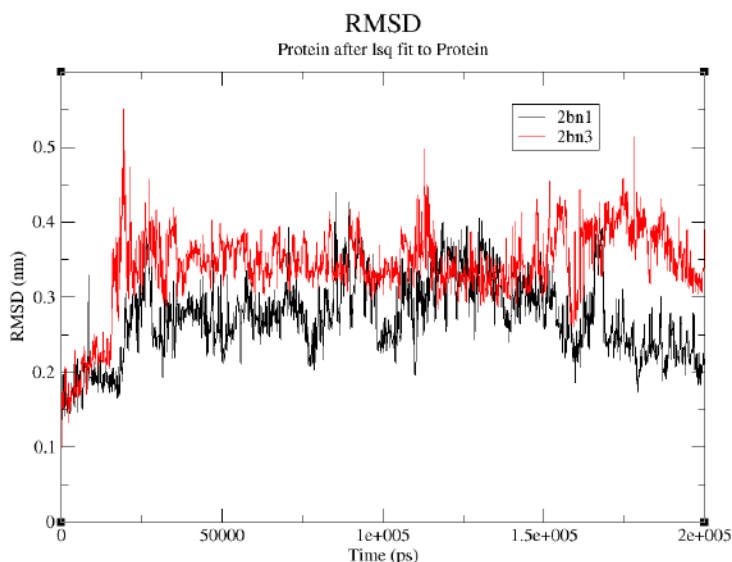


Figure-2 RMSD values of Insulin structures after MDS.

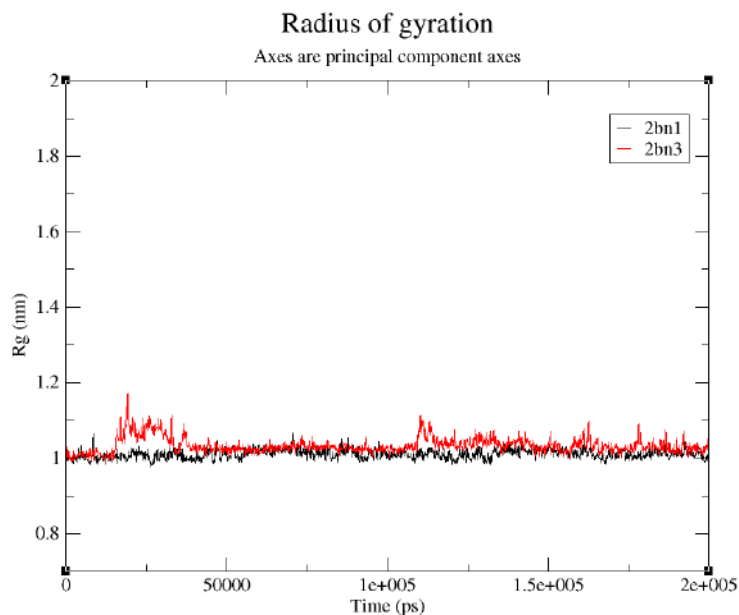


Figure-3 Rg values of Insulin structures after MDS.

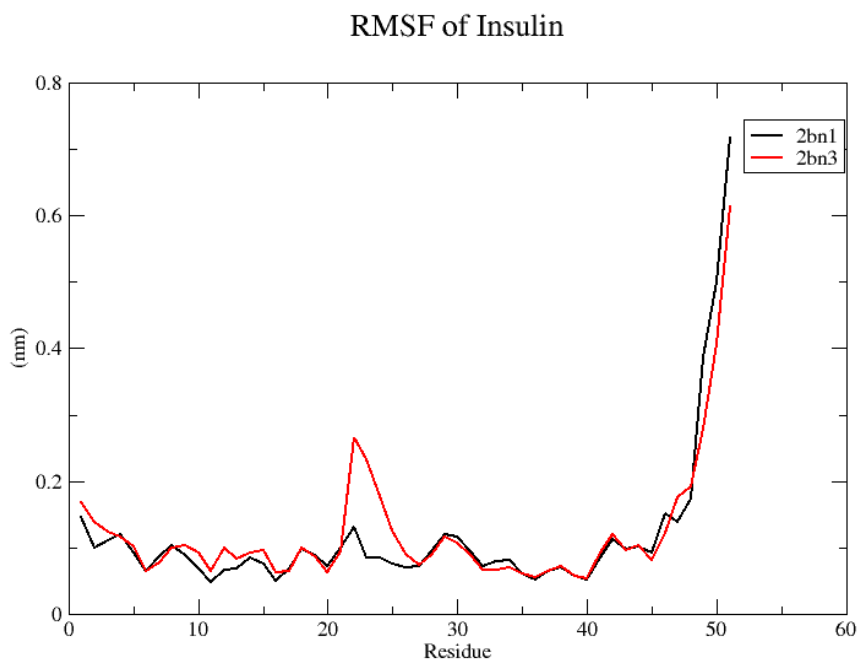


Figure-4 RMSF values of Insulin structures after MDS.

When the differences between the fluctuation movements of the 15 highest fluctuating amino acids in 2bn1 and 2bn3 structures were analysed, the values in Table-1 were obtained.

Table-1. Differences RMSF values of Insulin structures.

Residue Number	2bn1	2bn3	Diff.
23	0.0846	0.2334	0.1488
22	0.1318	0.266	0.1342
24	0.0855	0.1769	0.0914
25	0.0762	0.1247	0.0485
2	0.1002	0.1381	0.0379
47	0.1389	0.1746	0.0357
12	0.0666	0.1001	0.0335
10	0.0684	0.0918	0.0234
26	0.0693	0.0911	0.0218
1	0.1459	0.1673	0.0214
15	0.0753	0.0964	0.0211
48	0.1728	0.1915	0.0187
11	0.0473	0.0652	0.0179
9	0.0879	0.1042	0.0163
13	0.0687	0.0829	0.0142

4. DISCUSSION

In this study, it was investigated whether the RIP method applied to the insulin protein, whose X-ray crystallographic structure is known, has any effect on the protein. When the RMSD and Rg values obtained as a result of the simulation were examined, it was observed that the atoms in the structure moved slightly away from the centre of mass with the effect of RIP and the radius of gyration of the structure increased in some time periods. When the RMSF values were analysed, it was observed that the fluctuation amount of 30 out of 51 amino acids in the two chains in the protein structure increased. The most fluctuating amino acids were ILE2 in the A chain and VAL2, PHE1, ASN3, GLN4 and TYR26 in the B chain. Among these amino acids, especially VAL2 and PHE1 in chain B show more oscillations compared to others. The behaviour of VAL amino acid in protein structures is important since it has an active feature in the development of muscle structures and energy production, and PHE amino acid supports protein biosynthesis. The analyses showed an increase in the amount of fluctuation in about 59% of the residues. As a result of this situation, it can be said that the RIP method is slightly effective in the movement of insulin protein.

REFERENCES

1. Hirsch, I. B., Juneja, R., Beals, J. M., Antalis, C. J., & Wright Jr, E. E. (2020). The evolution of insulin and how it informs therapy and treatment choices. *Endocrine reviews*, 41(5), 733-755.
2. Sun, H., Saeedi, P., Karuranga, S., Pinkepank, M., Ogurtsova, K., Duncan, B. B., ... & Magliano, D. J. (2022). IDF Diabetes Atlas: Global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045. *Diabetes research and clinical practice*, 183, 109119.
3. Petersen, M. C., & Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiological reviews*.
4. Nanao, M. H., Sheldrick, G. M., & Ravelli, R. B. 2005. Improving radiation-damage substructures for RIP. *Acta Crystallographica Section D: Biological Crystallography*, 61(9), 1227-1237.
5. Ravelli, R. B. G., Leiros, H. K., Pan, B., Caffrey, M. & McSweeney, S. 2003. *Structure*, 11, 217–224.
6. RCSB PDB, 2024 <https://www.rcsb.org/> Access Date: 08/11/2024.
7. Jo S., T. Kim, V.G. Iyer, and W. Im. 2008. CHARMM-GUI: A Web-based Graphical User Interface for CHARMM. *J. Comput. Chem.* 29:1859-1865.
8. Brooks B.R., C.L. Brooks III, A.D. MacKerell, Jr., L. Nilsson, R.J. Petrella, B. Roux, Y. Won, G. Archontis, C. Bartels, S. Boresch, A. Caflisch, L. Caves, Q. Cui, A.R. Dinner, M. Feig, S. Fischer, J. Gao, M. Hodoscek, W. Im, K. Kuczera, T. Lazaridis, J. Ma, V. Ovchinnikov, E. Paci, R.W. Pastor, C.B. Post, J.Z. Pu, M. Schaefer, B. Tidor, R. M. Venable, H. L. Woodcock, X. Wu, W. Yang, D.M. York, and M. Karplus. 2009. CHARMM: The Biomolecular Simulation Program. *J. Comput. Chem.* 30:1545-1614.
9. Lee J., X. Cheng, J.M. Swails, M.S. Yeom, P.K. Eastman, J.A. Lemkul, S. Wei, J. Buckner, J.C. Jeong, Y. Qi, S. Jo, V.S. Pande, D.A. Case, C.L. Brooks III, A.D. MacKerell Jr, J.B. Klauda, and W. Im. 2016. CHARMM-GUI Input Generator for NAMD, GROMACS, AMBER, OpenMM, and CHARMM/OpenMM Simulations using the CHARMM36 Additive Force Field. *J. Chem. Theory Comput.* 12:405-413.

CATALYTIC REDUCTION PROCESS AND PROSPECTS IN WATER TREATMENT

Nazli TURKTEN¹, Yunus KARATAS²

¹ Kirsehir Ahi Evran University, Faculty of Arts and Sciences, nazli.turkten@ahievran.edu.tr
ORCID ID – 0000-0001-9343-3697

² Kirsehir Ahi Evran University, Faculty of Arts and Sciences, ykaratas@ahievran.edu.tr
ORCID ID - 0000-0002-3826-463X

ABSTRACT

Water pollution caused by increased urbanization and industrial activities causes drastic problems in the ecosystem, human, health, and other living systems. Therefore, advances in water treatment technologies and catalyst design have become a global top priority. An effective water treatment process must be addressed to eliminate microorganisms, dyes, pharmaceuticals, and personal care products, among other contaminants. Conventional treatment methods are often inadequate in removing recalcitrant and high-risk organic pollutants. Among water treatment methods, the catalytic reduction process effectively reduces contaminants, resulting in non-toxic or significantly less toxic byproducts. Recent advances have been made particularly in the catalytic behavior of degrading aromatic nitro compounds through chemical reduction. This method provides a cost-effective and energy-efficient solution strategy. Metallic and polymer catalysts are commonly used in the presence of sodium borohydride, which acts as a reducing agent.

Keywords: Catalyst, catalytic reduction, dyes, nitrophenols, water treatment.

1. INTRODUCTION

Discharging untreated wastewater containing industrial and household waste causes significant impacts on the environment and public health. It is estimated that approximately 8% of untreated wastewater is to be released into the environment worldwide. The treatment of wastewater, particularly from industries such as textiles, petrochemicals, and pharmaceuticals, is a major area of research on a global scale. Although various physical, chemical, and biological treatment methods have been performed to address industrial wastewater, these

conventional methods have notable disadvantages. Physico-chemical treatments are multistage approaches with a required long retention time. Physical methods are adsorption, ion exchange, and membrane filtration. Flocculation and coagulation processes are widely used chemical methods. In this technique, pH modification is achieved using expensive chemicals, and the generation and disposal of sludge limit its application [1-5].

The biological methods include enzyme, bacteria, and fungal-assisted. Biological treatment is a cost-effective, and environmentally friendly process using microorganisms. The chemical effluents consist of dominantly different harmful complex organic and inorganic substances that cannot be adequately treated using biological processes [1, 6, 7].

Advanced oxidation processes (AOPs) are based on strong oxidant radical technology such as hydroxyl radical and sulfate radical formation. Ozonation is a process with high operating cost, especially used in drinking water treatment. The Fenton process involves hydroxyl electron transfer between hydrogen peroxide and Fe^{2+} in a highly acidic medium. Heterogeneous photocatalysis depends on the photoexcitation of a semiconductor surface that promotes electron/hole pairs and monitors hydroxyl attack on organic pollutants. Other most commonly used AOPs are sonochemical and electrochemical. The sonochemical method utilizes ultrasonic waves and additives in solution. In electrochemical AOPs, electrodes that contain iron are widely used [8-11].

Catalytic reduction is a promising water treatment that utilizes both heterogeneously catalyzed reduction and homogeneous catalysis. Homogeneous catalysis is not preferred in water treatment since a liquid-phase catalyst is used. Heterogeneously catalyzed reduction specifically refers to the process in which a solid substance acts as a catalyst. The reactants interact with a reducing agent on the catalyst surface to form the desired product and convert organic pollutants into less toxic materials [12, 13]. The heterogeneously catalyzed reduction process is referred to as “catalytic reduction” in this article.

2. CATALYTIC REDUCTION

The catalytic reduction process converts industrial effluents, especially containing nitroarene compounds, into commercial by-products that can be further used in different areas. In this process, *p*-nitroaniline is chemically reduced to *p*-phenylenediamine using NaBH_4 and a catalyst. Another widely studied model pollutant is *p*-nitrophenol and a complete conversion of *p*-aminophenol is achieved. Hence, this catalytic treatment has emerged as an economical, effective, and green approach. Various types of catalysts have been reported in this method,

including metal oxides, noble metals, and polymeric materials. Recently, interest has focused on cost-effective and reusable catalysts rather than expensive noble catalysts such as Pd, Pt, and Au [14-17]. The preparation and characterization conditions of various catalysts used in the catalytic reduction method are presented in Table 1. The reaction conditions and pollutant model substrates are also described.

Table 1. Various Catalysts used in Catalytic Reduction

Catalyst Type	Preparation Method	Characterization	Substrate Concentration	Reaction Conditions	Ref.
CuO	Chemical precipitation	SEM XRD FT-IR Point of zero charge Reuse XRD XPS	MB: 0.15 mmol/L and 0.6 mmol/L	NaBH ₄ : 1.5 mmol/L, 3.4 mmol/L, 6.8 mmol/L pH: natural pH ≈ 6.5 recycling test: 5 cycles catalyst: 1 mg, 2 mg, 3 mg Reaction solution: Total 3.5 mL 2 mL of MB 1.5 mL of NaBH ₄ 1-3 mg catalyst	[17]
CuO CuO/PANI NI	CuO: sol-gel CuO/PANI: <i>in-situ</i> polymerization	SEM -EDX XRD FT-IR size distribution	MB: 5 ppm RhB: 5 ppm MO: 5 ppm MR: 5 ppm EBT: 5 ppm CV: 5 ppm EY: 5 ppm RB-5: 5 ppm 2-NP: 5 ppm 4-NP: 5 ppm 2,4-DNP: 5 ppm Picric acid: 5 ppm	NaBH ₄ : 0.08 M (final conc.in rxn solution) H ₂ O ₂ : 0.03 M (final conc.in rxn solution) recycling test: - catalyst: 0.8 mg Reaction dye solution: Total 3.01 mL 3 mL of dye solution 0.01 mL of 30% H ₂ O ₂ 0.8 mg catalyst Reaction NP solution: Total 3.01 mL 3 mL NP solution 0.01 mL of 30% H ₂ O ₂ 0.01 g NaBH ₄ 0.8 mg catalyst	[18]
Co doped ZnO	co-precipitation	SEM FT-IR BET Reused FT-IR	MB: 0.4 mM, 0.6 mM, 0.8 mM, 1 mM	NaBH ₄ : 4 mM, 6 mM, 8mM, 10 mM, recycling test: 4 cycles catalyst dose: 0.005 mM, 0.01 mM, 0.05 mM, 0.10 mM Reaction solution: Total 2.5 mL 1.4 mL of MB solution 0.7 mL NaBH ₄ solution 0.4 mL catalyst solution	[19]

FeMnO ₃ PANI- FeMnO ₃	PANI-FeMnO ₃ : <i>in-situ</i> chemical oxidative polymerization	SEM STEM XRD FT-IR	MB: 0.1 mM MO: 0.1 mM MR: 0.1 mM MG: 0.1 mM EBT: 0.1 mM CV: 0.1 mM RB-5: 0.1 mM CR: 0.1 mM 2-NP: 0.1 mM 4-NP: 0.1 mM 2,4-DNP: 0.1 mM Picric acid: 0.1 mM	NaBH ₄ : 0.01 g recycling test: 5 cycles catalyst: 0.01 g Reaction solution: Total 3 mL 3 mL of dye or NP 0.01 g NaBH ₄ 0.01 g catalyst	[20]
SnO ₂	using <i>Actinidia deliciosa (Kiwi)</i> peel extract	SEM-EDX TEM XRD FT-IR UV-vis Zeta potential	MB: 10 ⁻⁵ M MO: 10 ⁻⁵ M RhB: 10 ⁻⁵ M	NaBH ₄ : 0.1 M recycling test: centrifugation, 5 cycles catalyst: 5 mg Reaction solution: Total 3 mL 3 mL of dye solution 5 mg catalyst 50 µL 0.1M NaBH ₄	[21]
CuO	CuO derived from <i>Aglaia elaeagnoidea</i> flower extract	SEM-EDX TEM XRD FT-IR TG-DSC Reuse ICPAES	MB: 10 ⁻⁴ M CR: 10 ⁻⁴ M 4-NP: 10 ⁻³ M	NaBH ₄ : 0.01 M recycling test: centrifugation, 3 cycles, 90% catalyst: 5 mg/mL Reaction solution: Total 2 mL 1 mL dye or NP solution, 1 mL NaBH ₄ solution, 150 µL/5 mg catalyst solution	[22]
CeO ₂	CeO ₂ nanostructure using <i>Picrasma quassioides</i> extract.	TEM XRD FT-IR XPS UV-vis	MB: 10 ⁻³ M	NaBH ₄ : 0.01 M recycling test: - Reaction solution: 5 mL of NaBH ₄ solution 50 mL MB Stir 30 mg catalyst	[23]

2-nitrophenol: 2-NP, 4-nitrophenol: 4-NP, 2,4-dinitrophenol: 2,4-DNP, crystal violet: CV, congo red: CR, eosin yellow: EY, eriochrome black T: EBT, malachite green: MG, methylene blue: MB, methyl orange: MO, methyl red: MR, reactive black-5: RB-5, rhodamine B: RhB

3. CONCLUSIONS

Polymer-metal oxide composites have demonstrated effective chemical reduction in the field of the catalytic water treatment processes. Design of new, low-cost, and reusable catalytic

materials that can enable the efficient degradation of different organic contaminants in water through catalytic reduction.

REFERENCES

1. Dhamorikar, R.S., et al., Review on integrated advanced oxidation processes for water and wastewater treatment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2024. 138: p. 104-122.
2. Bhatia, D., et al., Biological methods for textile dye removal from wastewater: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2017. 47(19): p. 1836-1876.
3. Liu, L., et al., Treatment of industrial dye wastewater and pharmaceutical residue wastewater by advanced oxidation processes and its combination with nanocatalysts: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 2021. 42: p. 102122.
4. Islam, T., et al., Impact of textile dyes on health and ecosystem: a review of structure, causes, and potential solutions. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023. 30(4): p. 9207-9242.
5. Kumari, H., et al., A Review on Photocatalysis Used For Wastewater Treatment: Dye Degradation. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2023. 234(6): p. 349.
6. Solayman, H.M., et al., Performance evaluation of dye wastewater treatment technologies: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2023. 11(3): p. 109610.
7. Machado, F., A.C.S.C. Teixeira, and L.A.M. Ruotolo, Critical review of Fenton and photo-Fenton wastewater treatment processes over the last two decades. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2023.
8. Salimi, M., et al., Contaminants of emerging concern: a review of new approach in AOP technologies. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2017. 189(8): p. 414.
9. Zia, J. and U. Riaz, Photocatalytic degradation of water pollutants using conducting polymer-based nanohybrids: A review on recent trends and future prospects. *Journal of Molecular Liquids*, 2021. 340: p. 117162.
10. Oturan, M.A. and J.-J. Aaron, Advanced Oxidation Processes in Water/Wastewater Treatment: Principles and Applications. A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2014. 44(23): p. 2577-2641.
11. Ma, D., et al., Critical review of advanced oxidation processes in organic wastewater treatment. *Chemosphere*, 2021. 275: p. 130104.
12. Hu, M., et al., Catalytic reduction for water treatment. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2017. 12(1): p. 3.
13. Khan, M.S.J., et al., Catalytic innovations: Improving wastewater treatment and hydrogen generation technologies. *Journal of Environmental Management*, 2024. 354: p. 120228.

14. Pathak, J. and P. Singh, Zinc-Copper-Nickel Mixed Metal Oxide as Heterogeneous Catalytic Material for the Reductive Degradation of Nitroarene and Azo Dye. *Catalysis Letters*, 2024. 154(10): p. 5280-5293.
15. Naz, M., et al., Elimination of dyes by catalytic reduction in the absence of light: A review. *Journal of Materials Science*, 2021. 56(28): p. 15572-15608.
16. Bae, S., et al., Effect of NaBH₄ on properties of nanoscale zero-valent iron and its catalytic activity for reduction of p-nitrophenol. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2016. 182: p. 541-549.
17. Benhadria, N., et al., Catalytic Reduction of Methylene Blue Dye by Copper Oxide Nanoparticles. *Journal of Cluster Science*, 2022. 33(1): p. 249-260.
18. Ammara, et al., CuO/PANI nanocomposite: an efficient catalyst for degradation and reduction of pollutants. *Polymer Bulletin*, 2024.
19. Din, M.I., et al., Synthesis and characterization of cobalt doped zinc oxide nanoparticles and their application for catalytic reduction of methylene blue dye. *Desalination and Water Treatment*, 2024. 317: p. 100002.
20. UIAin, Q., et al., Comparison of catalytic and fuel additive properties of bimetallic nanoparticles and its composite: FeMnO₃ and PANI-FeMnO₃. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2022. 144: p. 106630.
21. Gomathi, E., M. Jayapriya, and M. Arulmozhi, Environmental benign synthesis of tin oxide (SnO₂) nanoparticles using *Actinidia deliciosa* (Kiwi) peel extract with enhanced catalytic properties. *Inorganic Chemistry Communications*, 2021. 130: p. 108670.
22. Manjari, G., et al., Catalytic and recyclability properties of phytogenic copper oxide nanoparticles derived from *Aglaia elaeagnoidea* flower extract. *Journal of Saudi Chemical Society*, 2017. 21(5): p. 610-618.
23. Sreekanth, T.V.M., G.R. Dillip, and Y.R. Lee, *Picrasma quassioides* mediated cerium oxide nanostructures and their post-annealing treatment on the microstructural, morphological and enhanced catalytic performance. *Ceramics International*, 2016. 42(6): p. 6610-6618.

Atık Su Arıtımında Titanyum Dioksit, Demir Oksit ve Gümüş Oksit Nanopartiküllerinin Kullanımı ve Geri Kazanımı

Doktora Öğrencisi, Saynur ARSLAN

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi,

saynurkosearslan@gmail.com - 0009-0009-8675-8472

Prof. Dr., Meltem SARIOĞLU CEBECİ

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi,

sarioglu@cumhuriyet.edu.tr - 0000-0002-3636-0388

ÖZET

Titanyum dioksit (TiO₂), demir oksit ve gümüş oksit, atık su arıtımında kullanılan önemli malzemelerdir. Bu malzemeler, kimyasal çöktürme, sol-jel ve hidrotermal gibi yöntemlerle sentezlenmektedir. Bu sentez yöntemleri, malzemelerin yüzey alanlarını artırarak fotokatalitik etkinliklerini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Fotokatalitik uygulamalarda, TiO₂ ışık enerjisini kullanarak organik ve inorganik kirleticilerin kimyasal bozunmasını sağlar. Bununla birlikte, yalnızca ultraviyole (UV) ışık altında etkin olması, görünür ışık kullanımını sınırlamaktadır. Demir oksit nanopartikülleri ise, ağır metallerin ve zararlı boyaların giderilmesinde etkili bir rol oynar. Manyetik özellikleri sayesinde ayrıştırılması ve geri kazanılması oldukça kolaydır. Ancak bu nanopartiküller, zamanla agregasyon oluşturarak etkinliklerini azaltabilir. Gümüş oksit ise patojenlerin gideriminde etkili antimikrobiyal özelliklere sahiptir ve organik kirleticilerin bozulmasında önemli bir rol oynar. Bununla birlikte, çevresel birikim ve toksisite sorunları gündeme gelebilir. Gelecekte, bu malzemelerin hibrit sistemlerde kullanılması, çevre dostu ve ekonomik yöntemlerin geliştirilmesi önem taşımaktadır. TiO₂'nin metal katkılı yapılarla desteklenmesi, görünür ışık etkinliğini artırabilir. Ayrıca, uzun vadeli araştırmalar, bu malzemelerin endüstriyel kullanım potansiyelini daha da artıracak ve sürdürülebilir atık su arıtma teknolojilerinin gelişimini hızlandıracaktır.

Anahtar Kelimeler : Arıtım, Atık su, Nanopartikül, Fotokatalitik, Sürdürülebilirlik

1. GİRİŞ

Atık su arıtımı, patojenlerin toksik etkileri ve atık su kirliliğinin insanlar, tarım ve hayvanlar üzerindeki olumsuz sonuçları nedeniyle kritik bir çevresel ve halk sağlığı sorunu olarak öne çıkmaktadır. Su kaynaklarının korunması, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve halk sağlığının korunması gibi temel hedefler doğrultusunda atık su arıtımı kritik öneme sahiptir. Atık su arıtımı süreci, fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerin tek başına veya bir arada kullanılmasıyla sudaki kirleticilerin etkin bir şekilde giderilmesini amaçlar (1, 2). Bu bağlamda, nanomalzemeler, organik ve inorganik kirleticilerin, ağır metallerin ve mikroorganizmaların giderilmesinde çok yönlü ve etkili bir teknoloji olarak dikkat çekmektedir.

Nanoteknoloji, geleneksel yöntemlere kıyasla katalitik aktivite, yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve ayarlanabilir gözenek yapıları gibi belirgin avantajlar sunarak, su ve atık su arıtımı için verimli ve esnek çözümler sağlamaktadır. Ekonomik olarak ölçeklenebilir yapısı sayesinde nanomalzemeler, mevcut su kaynaklarını temizlemekle kalmayıp, aşırı derecede kirli ve yenilenmesi zor olan kaynaklar için de etkili bir potansiyel sunmaktadır.

Nanomalzemeler, yüzey kimyası ve nanoyapısal özellikleri sayesinde yüksek adsorpsiyon kapasitesi, katalitik aktivite ve geniş özgül yüzey alanı gibi avantajlar sunarak su arıtımı süreçlerinde çok yönlü uygulamalara imkan tanımaktadır. Bu özellikler, organik kirleticilerin etkin giderimi ve reaktif etkileşimlerin artırılması için nanomalzemeleri öne çıkarmaktadır (3). Ayrıca, yüksek reaktiviteye sahip olmaları, nanomalzemeleri çevresel uygulamalarda artan bir ilgi odağı haline getirmiş ve su arıtma teknolojilerinde kayda değer gelişmelerin önünü açmıştır (4).

Nanopartiküller, boyutları, şekilleri ve kimyasal ile fiziksel özelliklerine göre çeşitli gruplara ayrılmaktadır. Bu gruplar arasında yarı iletken, seramik, polimerik, karbon bazlı, lipit bazlı ve metal nanopartiküller yer almaktadır. Metal oksit nanopartiküller, özellikle demir oksit, gümüş oksit ve titanyum oksit, atık su arıtımı uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır.

Titanyum dioksit (TiO_2), adsorpsiyon, fotokatalitik aktivite, antibakteriyel ve antifungal uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Gümüş oksit (Ag_2O), antimikrobiyal ve fotokatalitik işlemlerde tercih edilirken, demir oksit ise ağırlıklı olarak adsorpsiyon süreçlerinde etkinlik göstermektedir.

Yang ve arkadaşları, derlemelerinde nano çinko oksit (ZnO), gümüş nanopartiküller ($AgNPs$), nano sıfır değerlikli demir ve nano TiO_2 gibi dört farklı nanopartikül türünün atık su arıtımı ve anaerobik çürütme süreçlerindeki etkilerini detaylı bir şekilde incelemiştir. Bu çalışma, metal ve metal oksit ile metal olmayan oksit nanopartiküllerin atık su arıtma sistemlerine ve anaerobik çamur çürütme mekanizmalarına olan etkilerini ele almaktadır (5).

Fujishima ve Honda, 1972 yılında ultraviyole ışık altında bir TiO_2 elektrot üzerinde fotokatalitik su ayrışmasını keşfetmiştir. Bu buluş, fotovoltaiik sistemler, fotokataliz, fotochromik malzemeler ve sensörler gibi enerji ve çevre teknolojileri alanlarında birçok yenilikçi uygulamanın temelini oluşturmuştur (6).

Günümüzde TiO_2 , pigmentler, güneş kremleri, boyalar ve diş macunları gibi ticari ürünlerde yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu geniş uygulama alanı, hem kimyasal hem de fiziksel özelliklerinin çok yönlülüğünü yansıtmaktadır (7).

Demir oksit nanomalzemeler ise, düşük maliyetleri, yüksek adsorpsiyon kapasiteleri, kolay ayrılabilirlikleri ve artırılmış stabiliteleri nedeniyle endüstriyel ölçekli atık su arıtımı için umut vaat etmektedir. Bu nanomalzemelerin kirleticileri giderme kapasiteleri hem laboratuvar hem de saha testleriyle kanıtlanmıştır (8).

Yüksek yüzey alanı/hacim oranına sahip gümüş nanopartiküllerde, hem sulu hem de katı ortamlarda bakteriyel gelişimi önlemede oldukça etkilidir. Gümüş içeren malzemeler, tekstil liflerinden mikroorganizmaların uzaklaştırılmasında veya su arıtımında uygulanabilir. Gümüş ve gümüş bazlı bileşiklerin mikroorganizmalara karşı son derece toksik olduğu ve *Escherichia coli* dahil olmak üzere 12 farklı bakteri türüne karşı önemli biyosidal etkiler sergilediği belirtilmiştir (9).

Bu çalışmada, titanyum dioksit, demir oksit ve gümüş oksit metal oksit nanopartiküllerinin sentezi, atık su arıtımındaki kullanımları ve geri kazanımları incelenmiştir.

2. NANOPARTİKÜLLERİN SENTEZİ

2.1. Titanyum Dioksit Nanopartiküllerinin Sentezi

Titanyum dioksit (TiO_2), anataz, rutil ve brokit olmak üzere üç farklı kristal yapıya sahiptir. Bu yapılar arasında anataz, yüksek fotokatalitik aktivitesi nedeniyle fotokatalizör olarak kullanılmaktadır (10).

Çeşitli boyut ve morfolojilere sahip titanyum dioksit nano yapılarının sentezinde en sık tercih edilen yöntemler arasında sol-jel, mikroemülsiyon, hidrotermal, solvotermal ve yöntemler yer almaktadır.

Sol-jel yöntemi, inorganik polimerizasyon reaksiyonlarına dayanan bir süreçtir ve dört ana aşamadan oluşur: hidroliz, polikondenzasyon, kurutma ve termal ayrışma. Bu yöntemde, metal veya metal olmayan alkoksit öncülleri su veya alkol ile hidrolize edilir. Hidroliz süreci, su ve alkolün yanı sıra bir asit veya bazın eklenmesiyle hızlandırılabilir. Çözeltinin jel haline dönüşmesinden sonra, içindeki çözücü uzaklaştırılır (7).

Kolloid içerisindeki parçacıkların boyutu, çözelti bileşimi, pH ve sıcaklık gibi faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerin kontrolü, parçacık boyutunun istenen şekilde ayarlanmasını sağlar (11).

Mutuma ve arkadaşları, düşük sıcaklıkta sol-jel yöntemi kullanarak ve titanyum dioksit kristal polimorflarının çeşitli karışımlarından faydalanarak titanyum dioksit nanopartiküllerini geliştirmiştir. Örnekler, 200–800°C sıcaklık aralığında kalsinasyon işlemiyle elde edilmiştir.

Örneğin, pH'ın düzenlendiği ve sıcaklığın 800°C olduğu koşullarda anataz-rutil karışımı elde edilirken, 600°C üzerindeki sıcaklıklarda anataz-rutil-brokit karışımı elde edilmiştir (12).

Sol-jel yöntemi pek çok avantaj sunmasına rağmen bazı dezavantajları da vardır. Bu yöntem, jel oluşum sürecinin yavaş ilerlemesi nedeniyle zaman alıcıdır ve kullanılan öncül maddelerin maliyeti genellikle yüksektir (13).

Mikroemülsiyon, su ve yağ gibi birbiriyle karışmayan iki sıvının, yüzey aktif maddeler yardımıyla stabilize edilerek termodinamik olarak kararlı ve optik açıdan şeffaf bir karışım oluşturmasıdır. Nanopartiküllerin üretimi için mikro-heterojen bir ortam sağlar. Erken dönem çalışmalar umut vaat edici sonuçlar ortaya koysa da, mikroemülsiyonlardan kontrollü TiO₂ sentezi üzerine yapılmış çalışma sayısı oldukça sınırlıdır (14) (15).

Solvotermal ve hidrotermal yöntemler, TiO₂ nanopartiküllerinin boyut, morfoloji ve kristal yapısının kontrollü bir şekilde sentezlenmesinde yaygın olarak kullanılan tekniklerdir. Her iki yöntemde de, titanyum kaynağı içeren bir öncül çözeltisi, uygun bir çözücü ile birlikte reaksiyon kabına yerleştirilir ve yüksek sıcaklık ile basınç koşullarında işlem görür. Solvotermal yöntemde organik çözücüler kullanılırken, hidrotermal yöntemde çözücü olarak su tercih edilmektedir (16). Kobayashi, hidrotermal yöntemde suya çözünür titanyum kompleksleri kullanarak farklı polimorflar ve istenen özelliklere sahip kristal yapılar üretmiştir (17).

Elektrokimyasal sentez, epitaksiyal, süper örgü (superlattice), kuantum noktası ve nanoporlu gibi gelişmiş ince filmleri üretmek için çok yönlü ve düşük sıcaklıkta bir yöntem sunar. Bu yöntemde, potansiyel, akım yoğunluğu, sıcaklık ve pH gibi elektroliz parametreleri ayarlanarak filmlerin özellikleri kolayca kontrol edilebilir (7). Sun ve arkadaşları, Fe³⁺ katkılı TiO₂ nanotüp filmlerini elektrokimyasal anot oksidasyonu ile üretmiş ve Fe³⁺ katkısının UV ışığı altında fotokatalitik aktiviteyi artırdığını gözlemlemiştir (18).

2.2. Demir Oksit Nanopartiküllerinin Sentezi

Demir oksit, doğada bol miktarda bulunan bir mineral bileşiğidir ve farklı kristal yapıların yanı sıra çeşitli yapısal ve manyetik özellikler sergiler. Bu minerallerin en yaygın formları hematit (α -Fe₂O₃), manyetit (Fe₃O₄) ve maghemit (γ -Fe₂O₃) olarak bilinir.

Demir oksit nanopartiküllerinin sentezlenmesinde genellikle çöktürme, mikroemülsiyon, sol-jel hidrotermal ve solvotermal yöntemleri kullanılmaktadır.

Çöktürme yöntemi, manyetit ve maghemit gibi manyetik demir oksit nanopartiküllerinin üretiminde yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu yöntem, Fe(II) ve Fe(III) tuzlarının stokiometrik bir karışımının, bazik bir ortamda sodyum hidroksit (NaOH) veya amonyum hidroksit (NH₄OH) kullanılarak çöktürülmesine dayanır. Elde edilen nanopartiküllerin boyutu genellikle 5 ila 20 nm arasında değişmektedir. Deneysel koşullar, kullanılan tuz türü (klorür,

sülfat, nitrat veya perklorat) ve Fe^{2+}/Fe^{3+} oranına bağlıdır. Ayrıca, pH, ortamın iyonik gücü ve reaksiyon sıcaklığı gibi parametrelerin optimize edilmesi, nanopartiküllerin boyutunu, özelliklerini ve yüzey yapılarını kontrol etmede kritik bir rol oynar (19). Bu yöntem, hızlı bir işlem süreci sunmasının yanı sıra, koruyucu bir kaplama olmadan aglomerasyon riski taşır. Bununla birlikte, düşük maliyetli olması, bu yöntemi tercih edilir kılan başlıca avantajlardan biridir (20).

Demir oksit nanopartiküllerinin mikroemülsiyon yöntemi ile sentezlenmesi, yağ, su ve yüzey aktif maddelerin kullanımını içermektedir. Bu yöntemin avantajı, parçacık boyutunun etkin bir şekilde kontrol edilebilmesidir; ancak dezavantaj olarak büyük miktarda çözücü kullanımı gerekmektedir. Bumajdad ve arkadaşları, mikroemülsiyon yöntemiyle katalitik demir oksit sentezinin başarıyla gerçekleştirildiğini ve bu yöntemle 4 ila 15 nm arasında dar gözenek boyut dağılımına, kübik veya küresel morfolojiye ve yüksek yüzey alanına sahip parçacıkların üretilbildiğini ortaya koymuştur (21).

Sol-jel yöntemi ise düşük sıcaklık ve enerji gereksinimi nedeniyle fiziksel yöntemlere kıyasla daha ekonomik bir alternatif olarak dikkat çekmektedir. Bu yöntemle nanopartiküllerin şekli ve boyutu etkin bir şekilde kontrol edilebilmekte ve elde edilen malzemelerin özellikleri önceden belirlenmiş yapılarla uyumlu olacak şekilde ayarlanabilmektedir (22).

Hidrotermal ve solvotermal yöntemlerle demir oksit nanopartiküllerinin sentezi, demir tuzları ve yüzey aktif maddeler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler, dar boyut dağılımı ve iyi şekil kontrolü sağlamalarıyla öne çıkmaktadır. Ancak, reaksiyon süresinin uzun olması, bu yöntemlerin temel dezavantajlarından biri olarak değerlendirilmektedir (20).

2.3. Gümüş Oksit Nanopartiküllerinin Sentezi

Gümüş oksit nanopartikülleri geniş uygulama alanlarına sahip olmaları nedeniyle bilim dünyasında büyük ilgi görmektedir. Gümüş oksit nanopartiküllerinin boyutları mikro ölçeğin altındadır, bu da onların yüzey alanlarının göreceli olarak hacimlerine kıyasla çok büyük olmasına neden olur. Nanopartiküllerin bu yüksek yüzey alanı/hacim oranı, onların etrafındaki ortamla daha fazla etkileşime girmesini sağlar. Bu özellikler, gümüş oksit nanopartiküllerini kataliz, optoelektronik ve elektronik gibi alanlarda değerli kılar. Ayrıca, bu nanopartiküllerin potansiyel uygulamaları çevresel alanları da kapsayarak su arıtımı ve hava filtreleme gibi önemli işlemlere hizmet edebilir (9).

Bu nanopartiküller, fiziksel, kimyasal ve biyosentetik olmak üzere üç ana yöntemle sentezlenebilir. Fiziksel yöntemler arasında buhar biriktirme ve sonokimyasal yöntemler; kimyasal yöntemler arasında ise kimyasal indirgeme, sol-jel ve çöktürme metotları bulunmaktadır. Biyosentetik yöntemler ise bitkiler, bakteriler, mantarlar ve diğer mikrobiyal organizmaları kaplayıcı veya stabilize edici ajan olarak kullanır, bu da bu yöntemi çevre dostu kılar (23).

Geleneksel fiziksel ve kimyasal yöntemler, genellikle tehlikeli kimyasallar kullanımını gerektirir ve bu da yöntemleri toksik ve maliyetli hale getirir. Bu sorunlar, araştırmacıları daha

güvenli, maliyet etkin ve basit alternatifler aramaya itmiştir. Bu bağlamda, yeşil sentez veya biyosentez yöntemi, nanopartiküllerin vitaminler, şekerler, bitki ekstraktları ve mikroorganizmalar gibi doğal reaktifler kullanılarak sentezlenmesini mümkün kılar. Yeşil sentez yöntemi, kimyasal ve fiziksel yöntemlere göre daha az toksik, daha düşük sıcaklık ve basınç gerektiren bir yaklaşımdır (24).

Son dönem araştırmalar, yeşil sentez yönteminin basitliği, toksik olmayan doğası ve çevre dostu özellikleri nedeniyle fiziksel ve kimyasal yöntemlere üstün bir alternatif sunabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, gümüş oksit nanopartiküllerinin üretimi için yeşil sentez yöntemleri giderek daha fazla tercih edilmektedir.

Danish ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, gümüş oksit nanopartiküllerinin yeşil sentez yöntemleriyle üretimi araştırılmış ve bu yöntemin çevresel kirliliklerin fotokatalitik temizlenmesi ile biyomedikal uygulamalarda etkili bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur. Çalışmada, bitki ekstraktları ve mikrobiyal kaynaklar kullanılarak hazırlanan Ag₂O nanopartiküllerinin çevre dostu, toksik olmayan ve maliyet etkin özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, bu nanopartiküllerin organik kirleticilerin fotokatalitik bozunmasında ve antimikrobiyal etkinliklerinde yüksek performans sergilediği rapor edilmiştir (25). Görsel 1 de bu çalışmada değinilen nanopartiküllerin görüntüsü verilmiştir.



Görsel 1. Titanijum dioksit, demir oksit ve gümüş oksit nanopartiküllerinin görsel gösterimi.

3. TİTANYUM DİOKSİT, DEMİR OKSİT VE GÜMÜŞ OKSİT NANOPARTİKÜLLERİN ATIK SU ARITIMINDAKİ KULLANIMI VE ZORLUKLARI

Günümüzde ilaçlar, antibiyotikler, pestisitler, aromatik bileşikler, mikrokirleticiler ve boyalar gibi tehlikeli kirleticilerin çevreye salınımı, ekosistemler ve insan sağlığı üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bu kirleticilerin kontrol altına alınması ve giderilmesi, küresel

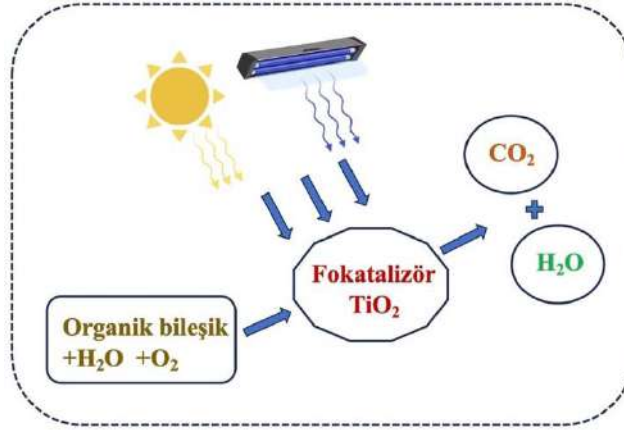
ölçekte ele alınması gereken önemli bir sorundur. Bunun yanı sıra, suda bulunan birçok organik ve inorganik kirletici, kimyasal yapılarının kararlılığı nedeniyle biyolojik olarak parçalanmaya direnç göstermektedir. Bu durum, daha etkili ve yenilikçi arıtma yöntemlerinin geliştirilmesini gerektirmektedir (26). Metal oksitler, çevresel kirleticilerin giderilmesi ve organik bileşiklerin ayrıştırılması konusunda önemli bir role sahiptir. Bu bağlamda fotokatalitik ayrıştırma yöntemi, yüksek verimliliği, toksik yan ürün oluşturmaması, çevre dostu yapısı ve yeniden kullanılabilirlik özellikleri ile dikkat çekmektedir. Titanyum dioksit, UV ışığı altında yüksek fotokatalitik aktivitesi, toksik olmaması ve kimyasal stabilitesi sayesinde sucul ortamlardaki kirleticilerin giderilmesinde geniş çapta kullanılmaktadır (27).

Titanyum dioksit, 3,20 eV'lik bant aralığı sayesinde UV ışığı altında fotokatalitik özellikler göstermektedir. Bu süreçte, süperoksit ve hidroksil radikalleri üretilir ve bu radikaller, zararlı organik kirleticileri daha basit bileşiklere, yani su (H_2O) ve karbondioksit (CO_2), dönüştürmektedir (28). Buna ek olarak, titanyum dioksit, ağır metal gideriminde de etkili bir materyaldir. Kurşun, kadmiyum ve cıva gibi toksik ağır metallerin uzaklaştırılmasında yüksek adsorpsiyon kapasitesiyle öne çıkmaktadır. Geniş yüzey alanı, fotokatalitik aktivitesini artırarak kirleticilerin ayrışmasını kolaylaştırmaktadır. Üstelik, TiO_2 'nin ortam koşullarında çalışabilme özelliği, büyük ölçekli atık su arıtma uygulamaları için ideal bir çözüm sunmaktadır. Bunun yanı sıra, tekstil boya gibi dirençli kirleticiler üzerinde de yüksek verimlilik sağlamaktadır (29).

Birçok araştırmacı, TiO_2 fotokatalizörlerin performansını artırmak için farklı yöntemler geliştirmiştir. Bu kapsamda, TiO_2 , metaller, metal oksitler veya ametallerle modifiye edilmiş ve silika, alümina, zeolit gibi gözenekli malzemelerle birleştirilmiştir. Fotokatalitik etkinliğini artırmak amacıyla, TiO_2 'nin gümüş (Ag), kobalt (Co) ve azot (N) gibi elementlerle katkılandırılması ve sol-jel, hidrotermal veya elektrospinning gibi çeşitli üretim teknikleriyle sentezlenmesi sıkça tercih edilmiştir. Bu modifikasyonlar, yarı iletken bant aralığının daraltılması ve elektron-hol (e^-/h^+) rekombinasyonunun engellenmesi sayesinde, daha yüksek fotokatalitik aktivite ve kirleticilerin daha hızlı bozunmasını sağlamaktadır (26, 28).

Ancak, TiO_2 nanopartiküllerinin çevresel etkileri de önemli bir araştırma konusu olarak dikkat çekmektedir. Örneğin, ışığa maruz kaldıklarında, TiO_2 nanopartikülleri, kirleticilerin parçalanmasını kolaylaştıran reaktif oksijen türleri (ROS) üretebilmektedir. Bozunma sürecinde temel bir role sahip olan ROS, TiO_2 nanopartiküllerinin çevreye yüksek miktarlarda salınması durumunda sucul organizmalarda oksidatif strese neden olabilmektedir (30).

Ayrıca, TiO_2 nanopartiküllerinin solunması, özellikle üretim ve işleme aşamalarında çalışanlar için sağlık riski oluşturabilir. Uzun süreli maruz kalma, solunum sorunları, akciğer iltihabı ve kanser riskini artırabilir. Bu tehlikeleri önlemek için, iş yerlerinde kişisel koruyucu ekipman kullanımı ve mühendislik önlemleri gibi koruyucu tedbirlerin alınması gerekmektedir (31). Görsel 2' de TiO_2 fotokatalizörü kullanılarak fotokatalitik süreç verilmiştir.



Görsel 2. Fotokatalitik süreç: TiO₂ fotokatalizörü kullanılarak organik kirleticilerin ışık enerjisi (UV veya güneş ışığı) altında CO₂ ve H₂O'ya dönüşüm mekanizması.

Atık su sisteminden kirleticileri uzaklaştırmak için kimyasal çöktürme, iyon değişimi, membran ayırma, filtrasyon ve adsorpsiyon gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında, adsorpsiyon tekniği basitliği ve düşük maliyeti nedeniyle öne çıkmaktadır. Bu yöntem, adsorban maddelerin atık suya eklenmesiyle çalışır ve ağır metaller, elektronegatif yük farkı nedeniyle adsorbana bağlanır. Son yıllarda, demir bazlı nanomalzemelerin ağır metallerin, boyaların ve hem organik hem de inorganik bileşiklerin giderilmesinde yüksek adsorpsiyon kapasitesi sunduğu görülmüştür (32).

Demir oksit nanopartikülleri, kirli suyun arıtımında genellikle iki temel şekilde kullanılmaktadır. Birinci yöntemde, bu malzemeler, kirleticilerin uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak için nanosorbent veya immobilizasyon taşıyıcısı olarak işlev görür ve arıtma verimliliğini artırır. Bu yaklaşımlar, genelde adsorpsiyon ve immobilizasyon teknolojileri olarak adlandırılmaktadır. İkinci yöntemde ise demir oksit nanopartikülleri, kirleticilerin parçalanmasını veya daha az toksik bileşiklere dönüştürülmesini sağlamak amacıyla fotokatalizör olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, birçok uygulamanın bu iki yöntemi bir arada kullanabildiği de unutulmamalıdır (8).

Cheng ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, 60 nm boyutundaki magemit (γ -Fe₂O₃) nanopartikülleri sentezlenmiş ve bu nanopartiküllerin endüstriyel atık sulardan Pb²⁺ iyonlarının giderimi üzerindeki etkinliği detaylı bir şekilde incelenmiştir. Analizler, adsorpsiyon sürecinin oldukça hızlı gerçekleştiğini ve magemit nanopartiküllerinin ağır metal giderimi için etkili ve güvenilir bir nanoadsorban olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur (33).

Demir oksit nanomalzemeler, yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve hızlı kirletici giderme yetenekleri ile atık su arıtımında etkili olmasına rağmen, yüksek üretim maliyetleri ve ticari ölçekli uygulamalara yönelik eksiklikler sınırlayıcı faktörlerdir. Çevresel etkiler, özellikle sucul ortamlara salınımları ve nanotoksosite riskleri üzerine araştırmalar önemlidir. Ayrıca,

biyomedikal ve kataliz gibi alanlarda da potansiyel sunarak, aktif karbon ile kombinasyonları adsorpsiyon performansını artırmaktadır. Bu nanomalzemelerin çok fonksiyonlu uygulamaları, çevresel iyileştirme gibi alanlarda önemli değişimler yaratma potansiyeline sahiptir (34).

Gümüş nanopartikülleri ve hibritleri, atık su arıtımında etkili bir alternatif olarak ilgi görmektedir. Boyalar, ağır metaller ve zararlı bakteriler, su kirliliğine neden olan başlıca kirleticilerdir. AgNP'ler, antimikrobiyal özellikleri ve yüksek adsorpsiyon kapasiteleri sayesinde bu kirleticilerin giderilmesinde kullanılmaktadır. Ancak, dikkatsiz kullanım çevresel kirliliği artırabilir, bu nedenle AgNP'lerin özelliklerinin dikkatli bir şekilde kullanılması önemlidir (35).

Örneğin, Michael A. Perez'in yaptığı çalışmada, gümüş nanopartiküllerinin atık su arıtımı ve *Escherichia coli* büyümesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yüksek konsantrasyonlardaki gümüş nanopartiküllerinin bakteriyel büyümeyi baskıladığı, ancak su kalite parametrelerinde belirgin bir değişikliğe yol açmadığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, gümüş nanopartiküllerinin atık su arıtımında etkili bir ajan olabileceğini, ancak çevresel etkilerinin dikkatlice değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (36).

4. SONUÇ

Bu çalışmada, titanyum dioksit (TiO₂), demir oksit ve gümüş oksit nanopartiküllerinin atık su arıtımındaki kullanımları ve geri kazanımları incelenmiştir. Her üç malzeme de fotokatalitik etkinlikleri, yüksek adsorpsiyon kapasiteleri ve antimikrobiyal özellikleri sayesinde atık su arıtımında önemli potansiyellere sahiptir. TiO₂ nanopartikülleri, özellikle UV ışık altında organik kirleticilerin parçalanmasında etkili olmakla birlikte, çevresel etki ve sucul organizmalarda oksidatif stres yaratma riski bulunmaktadır. Demir oksit nanopartikülleri, ağır metallerin ve zararlı boyaların giderilmesinde kullanılırken, gümüş oksit nanopartikülleri ise özellikle patojenlerin gideriminde antimikrobiyal özellikleriyle öne çıkmaktadır. Ancak, bu nanopartiküllerin çevresel etkilerinin dikkate alınması ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi, daha geniş ölçekli uygulamalarda kullanımını artırabilir. Nanomalzemelerin etkinliği ve sürdürülebilirliği üzerine yapılan araştırmalar, gelecekte bu malzemelerin daha verimli ve çevre dostu sistemlerde kullanılmasına olanak sağlayacaktır. Özellikle, hibrit sistemlerin geliştirilmesi, bu malzemelerin potansiyelini daha da artırabilir. Sonuç olarak, TiO₂, demir oksit ve gümüş oksit nanopartiküllerinin atık su arıtımındaki kullanımı, çevre dostu ve ekonomik çözüm sağlayabilecek önemli bir teknoloji olarak potansiyel taşımaktadır.

KAYNAKÇA

1. Bartram, J., , Ballance, R. (Eds.), *Water Quality Monitoring*, CRC Press/London,1996.

2. Gabriel Bitton. *Wastewater Microbiology: Edition 4* , 2011.
3. Naseem, T. , Durrani, T. , The role of some important metal oxide nanoparticles for wastewater and antibacterial applications: A review. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology* vol. 3 59–75 at <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.12.001>, 2021.
4. Zeinali Heris, S., Etemadi, M., Mousavi, S. B., Mohammadpourfard, M. , Ramavandi, B. , Preparation and characterizations of TiO₂/ZnO nanohybrid and its application in photocatalytic degradation of tetracycline in wastewater. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 443, 114893, 2023.
5. Yang, Y., Zhang, C. , Hu, Z. , Impact of metallic and metal oxide nanoparticles on wastewater treatment and anaerobic digestion. *Environ. Sci.: Processes Impacts* 15, 39–48 , 2013.
6. FUJISHIMA, A. , HONDA, K. , Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode. *Nature* 238, 37–38, 1972.
7. Gupta, S. , Tripathi, M., A review on the synthesis of TiO₂ nanoparticles by solution route. *Open Chemistry* 10, 279–294 , 2012.
8. Xu, P. *et al.* , Use of iron oxide nanomaterials in wastewater treatment: A review. *Science of The Total Environment* 424, 1–10, 2012.
9. Muhammad, S. *et al.* , *Synthesis of Silver Oxide Nanoparticles and its Antimicrobial, Anticancer, Anti-inflammatory, Wound Healing, and Immunomodulatory Activities-A Review* *Acta Scientific Applied Physics Synthesis of Silver Oxide Nanoparticles and its Antimicrobial, Anticancer, Anti-inflammatory, Wound Healing, and Immunomodulatory Activities-A Review*.
<https://www.researchgate.net/publication/372158145>, 2023.
10. Macwan, D. P., Dave, P. N. , Chaturvedi, S. , A review on nano-TiO₂ sol–gel type syntheses and its applications. *Journal of Materials Science* 46, 3669–3686, 2011.
11. Burda, C., Chen, X., Narayanan, R. & El-Sayed, M. A. Chemistry and properties of nanocrystals of different shapes. *Chemical Reviews* vol. 105 1025–1102 at <https://doi.org/10.1021/cr030063a> (2005).
12. Mutuma, B. K., Shao, G. N., Kim, W. D. , Kim, H. T. , Sol–gel synthesis of mesoporous anatase–brookite and anatase–brookite–rutile TiO₂ nanoparticles and their photocatalytic properties. *Journal of Colloid and Interface Science* 442, 1–7, 2015.

13. Noman, M. T., Ashraf, M. A. , Ali, A. , Synthesis and applications of nano-TiO₂: a review. *Environmental Science and Pollution Research* 26, 3262–329, 2019.
14. Zhang, R. , Gao, L. , Preparation of nanosized titania by hydrolysis of alkoxide titanium in micelles. *Materials Research Bulletin* 37, 1659–1666, 2002.
15. Lim, K. T., Hwang, H. S., Ryoo, W. , Johnston, K. P. , Synthesis of TiO₂ Nanoparticles Utilizing Hydrated Reverse Micelles in CO₂. *Langmuir* 20, 2466–2471, 2004.
16. Irshad, M. A. *et al.* , Synthesis, characterization and advanced sustainable applications of titanium dioxide nanoparticles: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 212, 111978, 2021.
17. KOBAYASHI, M. , Synthesis and development of titania with controlled structures. *Journal of the Ceramic Society of Japan* 124, 863–869, 2016.
18. Sun, L. *et al.* , An electrochemical strategy of doping Fe³⁺ into TiO₂ nanotube array films for enhancement in photocatalytic activity. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 93, 1875–1880, 2009.
19. Campos, E. A., Stockler Pinto, D. V. B., Oliveira, J. I. S. de, Mattos, E. D. C. , Dutra, R. D. C. L. , Synthesis, Characterization and Applications of Iron Oxide Nanoparticles - a Short Review. *Journal of Aerospace Technology and Management* 7, 267–276, 2015.
20. Matei, E., Predescu, A., Vasile, E. & Predescu, A., Properties of magnetic iron oxides used as materials for wastewater treatment. *Journal of Physics: Conference Series* 304, 012022, 2011.
21. Bumajdad, A., Ali, S. , Mathew, A. , Characterization of iron hydroxide/oxide nanoparticles prepared in microemulsions stabilized with cationic/non-ionic surfactant mixtures. *Journal of Colloid and Interface Science* 355, 282–292, 2011.
22. Parashar, M., Shukla, V. K. , Singh, R. , Metal oxides nanoparticles via sol–gel method: a review on synthesis, characterization and applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 31, 3729–3749, 2020.
23. Shume, W. M., Murthy, H. C. A. , Zereffa, E. A. , A Review on Synthesis and Characterization of Ag₂O Nanoparticles for Photocatalytic Applications. *Journal of Chemistry* 2020, 1–15, 2020.
24. Kumar Ojha, A., Rout, J., Behera, S. , Nayak, P. L. , Green Synthesis and Characterization of Zero Valent Silver Nanoparticles from the Leaf Extract of *Datura Metel*. *International Journal of Pharmaceutical Research & Allied Sciences* 2, 31–35, 2013.

25. Danish, M. S. S. *et al.* , Green Synthesis of Silver Oxide Nanoparticles for Photocatalytic Environmental Remediation and Biomedical Applications. *Metals* 12, 769, 2022.
26. Thuan, D. van *et al.* , Adsorption and photodegradation of micropollutant in wastewater by photocatalyst TiO₂/rice husk biochar. *Environmental Research* 236, 116789, 2023.
27. Zeinali Heris, S., Etemadi, M., Mousavi, S. B., Mohammadpourfard, M. , Ramavandi, B. , Preparation and characterizations of TiO₂/ZnO nanohybrid and its application in photocatalytic degradation of tetracycline in wastewater. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 443, 114893, 2023.
28. Kirk, C. H. *et al.* , TiO₂ photocatalytic ceramic membranes for water and wastewater treatment: Technical readiness and pathway ahead. *Journal of Materials Science & Technology* 183, 152–164, 2024.
29. Qasim, M. *et al.* , Biogenic Nanoparticles at the Forefront: Transforming Industrial Wastewater Treatment with TiO₂ and Graphene. *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences* 11, 56–76, 2024.
30. Dharma, H. N. C. *et al.* , A Review of Titanium Dioxide (TiO₂)-Based Photocatalyst for Oilfield-Produced Water Treatment. *Membranes* 12, 345, 2022.
31. Rashid, M. M., Forte Tavčer, P. , Tomšič, B. , Influence of Titanium Dioxide Nanoparticles on Human Health and the Environment. *Nanomaterials* 11, 2354, 2021.
32. Nizamuddin, S. *et al.* , Iron Oxide Nanomaterials for the Removal of Heavy Metals and Dyes From Wastewater. in *Nanoscale Materials in Water Purification* 447–472 Elsevier, 2019.
33. Cheng, Z. *et al.* , Synthesis and Characterization of Iron Oxide Nanoparticles and Applications in the Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewater. *International Journal of Photoenergy* 2012, 1–5 , 2012.
34. Nizamuddin, S. *et al.* , *Iron Oxide Nanomaterials for the Removal of Heavy Metals and Dyes From Wastewater*. in *Nanoscale Materials in Water Purification* 447–472 ,Elsevier, 2019, doi:10.1016/B978-0-12-813926-4.00023-9.
35. Ganguly, K., Dutta, S. D., Patel, D. K. , Lim, K.-T. , *Silver nanoparticles for wastewater treatment*. in *Aquananotechnology* 385–401, Elsevier, 2021, doi:10.1016/B978-0-12-821141-0.00016-1.

36. Michael Perez. , The Effects of Silver Nanoparticles on Wastewater Treatment and Escherichia Coli Growth, The Florida State University, Civil and Environmental Engineering, 2012.

Tarımsal Atıklardan Biyokömür Elde Edilmesi ve Atık Sulardan Ağır Metal Giderimi Uygulamaları

Doktora Öğrencisi: Zeynal ZEYNALLI

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi,

zeynalliz310@gmail.com - 0009-0003-7692-0356

Prof. Dr. Meltem SARIOĞLU CEBEÇİ

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi,

sarioglu@cumhuriyet.edu.tr - 0000-0002-3636-0388

ÖZET

Tarımsal atıklar, dünya genelinde bol miktarda bulunan ve çevresel sorunlara yol açabilen materyallerdir. Bu araştırma çalışmasında, piroliz yöntemi kullanarak tarımsal atıklardan biyokömür üretilmesinin çevreye olan katkısını ve biyokömürün atık sulardan ağır metallerin giderilmesindeki verimliliği araştırmaktadır. Tarımsal atıklar, biyokömür üretimi için sürdürülebilir bir kaynak sunar ve bu süreç çevre dostu bir çözüm sağlar. Biyokömür, yüksek yüzey alanı ve kimyasal yapısı sayesinde, nikel, kurşun, bakır gibi ağır metallerin adsorpsiyonunda etkili bir malzeme olarak dikkat çekmektedir. Çalışmada, biyokömürün modifikasyon yöntemleri, dozaj etkisi ve pH gibi parametrelerin ağır metal giderme verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonucu olarak, biyokömürün atık sulardan ağır metal gideriminde başarılı bir adsorban olarak kullanıldığını ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağladığını gösterilmektedir. Ayrıca, biyokömürün tarımsal atıkların yeniden değerlendirilmesi ve atık yönetiminin iyileştirilmesi açısından ekonomik faydalar sunduğu vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyokömür, Piroliz, Tarımsal atıklar, Ağır metal giderimi, Adsorpsiyon

GİRİŞ

Tarımsal atıklar, dünya genelinde bol miktarda bulunması ve yaygın kullanımı nedeniyle her zaman dikkat çekmiştir. Örneğin, ekonomisinin büyük bir bölümünü tarım sektörüne dayandıran Malezya gibi ülkelerde, her yıl 2 milyon tondan fazla tarımsal atık üretilmektedir. Ancak bu atıkların büyük bir kısmı açık alanlara dökülmekte ya da yakılmaktadır ve bu durum, yeraltı sularının kirlenmesi ve hava kirliliği gibi ciddi çevresel problemlere neden olmaktadır.[1]

Bu çevresel sorunlara çözüm olarak biyokömür, etkili bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Mısır koçanı, pirinç kabuğu, fıstık kabuğu, ağaç kabuğu gibi tarımsal atıkların yanı sıra işlenmiş kağıt atıkları, hayvan gübresi, kentsel atıklar ve ormansal biyoküteller biyokömür üretiminde kullanılabilir hammadde kaynaklarıdır. Biyokömürün kimyasal yapısı (C, N, K, Ca), kullanılan hammaddenin türüne bağlı olarak farklılık gösterebilir [2].

Bu geniş çeşitlilik gözönünde bulundurulduğunda, tarımsal atıkların biyokömür üretiminde değerlendirilmesi çevre dostu ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. Bu atıklar, gübrelerin etkisini artırarak toprak verimliliğini yükseltmek, süper kapasitörlerin kapasitesini iyileştirmek ve kurşun, bakır, çinko gibi çeşitli su kirleticilerinin giderilmesinde adsorban olarak kullanılmak üzere başarıyla biyokömüre dönüştürülmektedir. Biyokömür üretiminde kullanılan piroliz işlemi, organik materyallerin oksijen bulunmayan bir ortamda 400°C ve üzeri sıcaklıklarda kimyasal ve termal olarak ayrıştırılmasıyla tanımlanır.[1]

Ağır metallerin çevre üzerindeki olumsuz etkileri, biyokömürün çözüm sunduğu önemli alanlardan biridir. Biyokütle temelli biosorbentler, florür ve ağır metal gibi zararlı maddelerin atık su arıtımında giderilmesi amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ağır metal kirliliği, insan sağlığına zarar veren ve küresel çapta ciddi bir çevresel sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu metaller, biyolojik olarak parçalanamaz ve biyoakümülyasyon yoluyla besin zincirinde birikerek aktarılır. Nikel, bakır, kurşun, krom ve arsenik gibi ağır metaller, hem doğal yaşam alanlarına hem de insan sağlığına ciddi tehditler oluşturur[3].

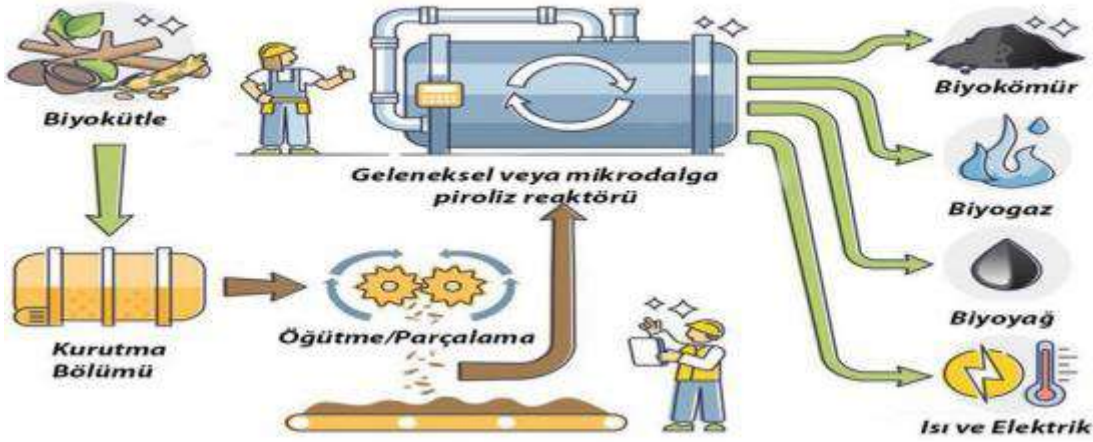
Biyokömür, ağır metallerin giderilmesinde etkili bir adsorban olarak önemli bir potansiyele sahiptir. Çeşitli araştırmalar, biyokömürün ağır metal temizliğinde başarılı bir adsorban olarak kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır. Örneğin, Manyuchi ve arkadaşları (2022) biyokömürün, altın madenciliği atık sularındaki siyanür ve ağır metallerin giderilmesinde %90'a kadar verimli olduğunu rapor etmiştir. Ayrıca, piroliz yöntemiyle elde edilen biyokömürlerin yüzey alanı ve gözenek yapılarının, ağır metal iyonlarını tutmada son derece etkili olduğunu belirtmişlerdir [4]

Bu çalışmanın nihai amacı, tarımsal atıklardan piroliz yöntemiyle biyokömür üretimi sürecini incelemek ve biyokömürün, sulu çözeltilerden ağır metal iyonlarını uzaklaştırma konusundaki rolünü ele alarak, mevcut araştırma bulguları ve teorik gelişmeleri kapsamlı bir şekilde değerlendirmektir[5]

2.YÖNTEM

2.1. Piroliz Yöntemi ile Biyokömür Üretimi

Oksijensiz ve ya sınırlı oksijenli ortamlarda biyokütellerin yüksek sıcaklıklarda yakılması işlemi piroliz adı veriliyor. Piroliz yöntemi sonucunda biyo-yağ oluşuyor, aynı zamanda metan, hidrojen, karbonmonoksit gibi gazlar oluşmaktadır[6]. Görsel 1'de biyokömür üretimi gösterilmiştir



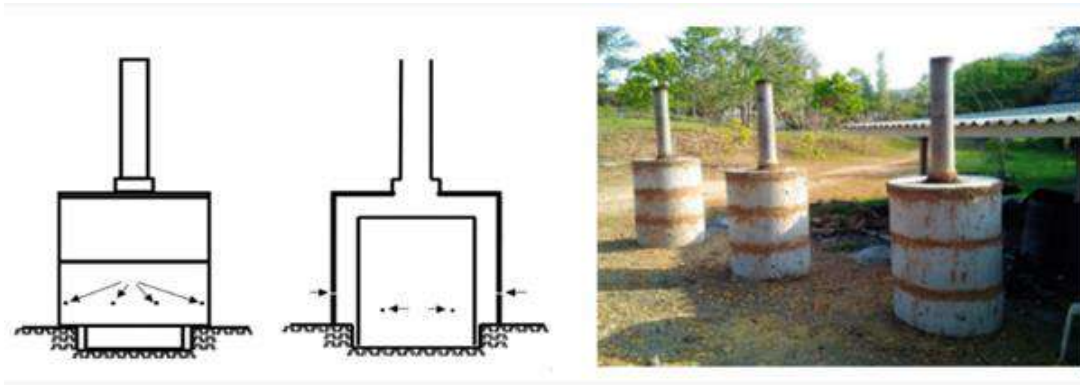
Görsel 1. Biyokömür üretim şeması [7].

Isıtma işlemine başlamadan önce, biyoküteller, boyut ve nem oranlarının homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak amacıyla özenle hazırlanmıştır. Manyok sapları ve mısır koçanları 15 cm'den kısa parçalara ayrılmış, manyok bitkisinin nişasta bakımından zengin kökleri ise (rizomları) 10 cm'den daha küçük olacak şekilde kesilmiştir.

Thavivongse Sriburi'nin geliştirdiği ve patenti alınan Kontrollü Sıcaklık Biyokömür Retortu (Patent Numarası: 110100118) kullanılarak, 12 ila 24 saatlik bir süre boyunca yavaş piroliz işlemine tabi tutulmuştur (Görsel 2). Bu retort tasarımı, FAO'nun belirlediği standartlara uygun olarak titizlikle geliştirilmiştir.

Piroliz işlemi sırasında, sıcaklık değerlerinin doğru bir şekilde kontrol edilmesi amacıyla, retortun iç kısmından ve baca çıkışından düzenli aralıklarla sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Bu işlem sırasında, biyoküteller 30 dakika süreyle, 500–600 °C arasında değişen yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmıştır.

Biyokütle ve yakıt arasındaki oran, 1.0:0.6 olarak ayarlanmış; yani yakıt miktarının, biyokütle ağırlığının %60'ını oluşturması sağlanmıştır. Bu oran, piroliz işleminin en verimli şekilde gerçekleşmesi için gerekli optimum koşulların sağlanması adına belirlenmiştir.



Görsel 2. Yavaş Piroliz İşlemi için Kontrollü Sıcaklıklı Biyokömür Retortu.[6].

Biyokömür retortunda gerçekleştirilen piroliz işleminin sıcaklığı 500–600 °C arasında ayarlanabilir. Oksijensiz bir ortamda, orta sıcaklık aralığında (350–550 °C) ve daha uzun işlem süreleriyle uygulanan yavaş piroliz, hızlı piroliz veya gazifikasyon yöntemlerine kıyasla

yaklaşık %30 daha fazla biyokömür üretimi sağlamıştır. Ayrıca, biyokömür verimi benzer tasarıma sahip fırınlarla karşılaştırıldığında daha yüksek olup, hammadde miktarının %58–60'ına kadar ulaşmıştır.

Kontrollü sıcaklıkta gerçekleştirilen yavaş piroliz ile üretilen biyokömür, laboratuvar koşullarında üretilen biyokömürle eşdeğer kalitededir (Görsel 2). Ayrıca, çiftliklerde yapılan uygulamalar, bu biyokömürün toprak verimliliğini artırarak pirinç , soya fasulyesi ve sebze tarımında daha yüksek verim sağladığını göstermiştir.[6]

Bu süreç, biyokömür üretiminde verimliliği artıran ve aynı zamanda çevresel etkileri minimize eden önemli bir adım olarak kabul edilmektedir. Bu yöntem, özellikle yerel malzemelerin kullanımı ve ekonomik maliyetlerin düşürülmesi açısından sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca, piroliz koşullarının hassas şekilde kontrol edilmesi, yüksek kaliteli biyokömür elde edilmesini sağlayarak, bu sürecin etkinliğini arttırmaktadır.

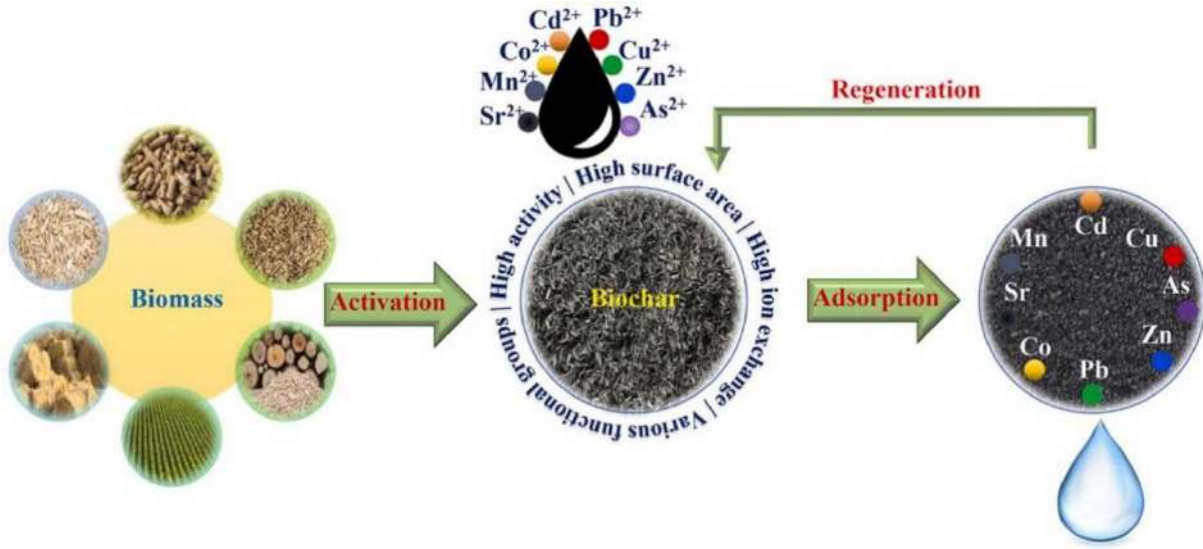
2.2 Biyokömürün Ağır Metal Giderimindeki Rolü

Biyokömürün yüzey özellikleri ve gözenek yapısı, ağır metallerin adsorplanmasında önemli bir etkiye sahiptir. Gözenekli yapı, biyokömürün yüzey alanını artırarak metal iyonlarının tutunması için daha fazla aktif alan yaratır . Biyokömür yüzeyinde, metal katyonlarıyla kuvvetli bir şekilde bağlanabilen karboksil, karbonil, hidroksil ve amino grupları gibi fonksiyonel gruplar bulunur.

Ayrıca, biyokömür yüzeyindeki mineraller, adsorpsiyon verimliliğini artırabilir, metal iyonlarıyla etkileşimleri güçlendirebilir ve biyokömürle ağır metal iyonlarının çökmesini kolaylaştırabilir. Yüzeydeki negatif yüklerin varlığı ise, kation değişim kapasitesini artırarak, çoğu ağır metal iyonunun pozitif yük taşıması nedeniyle elektrostatik çekim gücünü güçlendirir, bu da adsorpsiyon etkinliğini artırır.

Bu teknikler genellikle iki ana grupta sınıflandırılır. Birinci grup, biyokömür üretiminde kullanılan hammaddelerin doğrudan değiştirilmesini içerirken, ikinci grup, üretilen biyokömürün modifikasyonunu ele alır. Hammaddelerin modifikasyonu, çeşitli kimyasal maddelerle yapılan ön işleme işlemleriyle gerçekleştirilir. Alternatif olarak, biyokömür fiziksel, kimyasal ya da her ikisinin birleşimiyle modifiye edilebilir.

Biyokömürün modifikasyonu, aktif yüzey alanını artırmanın yanı sıra, fonksiyonel grupların sayısını, dağılımını ve yüzey yüklerini düzenleyerek, kirli sulardan ağır metal adsorpsiyonunu geliştirebilir. Bu tür modifikasyonlar, %99,81 oranında yüksek adsorpsiyon verimliliği sağlamaktadır. Uygulamanın özel ihtiyaçlarına göre, en uygun özellikleri elde edebilmek için doğru hazırlık yönteminin seçilmesi büyük önem taşır.



Görsel 3. Biyokömür Üretimi ve Ağır Metal Giderimi Süreci[8].

Xue ve çalışma arkadaşları, yer fıstığı kabuklarını H₂O₂ ile hidrotermal karbonizasyon yoluyla işleyerek modifiye biyokömür üretmiş ve bunun, sudaki ağır metallerin uzaklaştırılmasında etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Araştırmaları, bu işlemle biyokömürün yüzeyindeki karboksil gruplarının ve diğer oksijenli fonksiyonel grupların sayısının arttığını ortaya koymuştur. Pb'nin adsorpsiyon kapasitesi 22.82 mg/g olarak belirlenmiş ve bu değer, aktif edilmemiş biyokömüre kıyasla 20 kat daha yüksek bulunmuştur. Görsel 3 biyokömür ile ağırmetal giderimini gösterir.

Biyokömürün sudan ağır metallerin adsorpsiyon kapasitesi, bir dizi faktöre bağlı olarak değişir. Bu faktörler arasında biyokömürün gözenek yapısı, yüzeydeki kation değişim kapasitesi ve fonksiyonel grupların türü ve sayısı yer alır. Ayrıca, biyokömür miktarı, suyun pH değeri, su sıcaklığı, sudaki diğer kationların varlığı, ağır metallerin başlangıç konsantrasyonu ve türü ile biyokömürün yaşlanma süreci de adsorpsiyon verimliliğini etkileyen önemli unsurlardır. Bu faktörlerden bazılarına baktığımızda, pH'ın etkisi şu şekilde özetlenebilir: Bir çözeltinin asidik veya bazik yapısı, H⁺ iyonlarının yoğunluğuna bağlıdır ve bu yoğunluk, suyun türüne göre farklılık gösterir. pH, ağır metal iyonlarının özelliklerini ve biyokömür yüzeyindeki yük dağılımını etkileyerek adsorpsiyon hızını ve etkinliğini önemli ölçüde şekillendirir. Düşük pH seviyelerinde, biyokömür yüzeyindeki gruplar H⁺ iyonlarıyla etkileşime girerek negatif yük miktarını azaltır ve bu da ağır metal katyonlarının adsorpsiyon kapasitesinde azalmaya yol açar. Öte yandan, pH seviyesi arttığında, yüzeydeki fonksiyonel gruplar proton kaybeder, bu da negatif yükü artırarak ağır metal katyonlarının daha iyi adsorplanmasını sağlar. Ancak bazik ortamlarda ağır metal katyonları çökelti oluşturabilir. Her bir ağır metal iyonu için belirli bir pH aralığı idealdir ve çok düşük veya çok yüksek pH değerleri adsorpsiyon performansını olumsuz etkileyebilir.

Qian ve arkadaşları pH'nin biyokömürün adsorpsiyon kabiliyeti üzerindeki etkisini incelemiş ve pH 2.5 ile 4.5 arasında Cr³⁺ adsorpsiyon kapasitesinin pH seviyesi arttıkça yükseldiğini bulmuşlardır. Ancak, ağır metal anyonlarının adsorpsiyon kapasitesinin pH değerinin artışıyla birlikte azaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Öte yandan iyon etkisine bakarsak şunu söyleyebiliriz. Atık su ve doğal su ortamlarında, ağır metal iyonları genellikle başka iyonlarla birlikte bulunur ve bu iyonların miktarı, ağır metallerin biyokömür tarafından adsorpsiyonunu önemli ölçüde etkileyebilir. Çözeltide

bulunan Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- ve SO_4^{2-} gibi iyonlar, biyokömürün ağır metal adsorpsiyon kapasitesini düşürebilir

Zhang ve ekibi K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} ve Mg^{2+} gibi iyonların, modifiye edilmiş biyokömür üzerinde Pb^{2+} ve Cd^{2+} adsorpsiyonuna olan etkisini araştırmıştır. Çalışmalarında, 8–20 mg/L konsantrasyonlarındaki K^+ iyonlarının, modifiye biyokömür üzerindeki Pb^{2+} ve Cd^{2+} adsorpsiyonuna ciddi bir etkisi olduğunu, NH_4^+ iyonlarının ise daha sınırlı bir etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir. Bunun yanında, Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının Pb^{2+} ve Cd^{2+} adsorpsiyon verimliliği üzerinde oldukça düşük bir etkisi olduğu sonucuna ulaşmışlardır[5].

3. Sonuç

Sonuç olarak, piroliz yöntemiyle tarımsal atıklardan biyokömür elde edilmesi çevre dostu bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntemin kullanımı, gerek sürdürülebilirlik gerekse atık yönetimi açısından önemli bir üstünlük sağlamaktadır. Araştırmalar, farklı tarımsal atıklardan piroliz yöntemiyle biyokömür elde edilebileceğini ve bu biyokömürün atık sulardan ağır metallerin giderilmesinde büyük bir katkı sağladığını ortaya koymaktadır.

Biyokömür, özellikle ağır metal giderimi sırasında etkili bir adsorban olarak görev yapmakta ve bu süreçte pH, iyon konsantrasyonu gibi faktörler biyokömürün adsorpsiyon kalitesini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, farklı tarımsal atıklardan üretilen biyokömürlerin ağır metal giderimi için uygulanabilirliği, çevresel problemlerin çözümünde pratik bir yaklaşım sunmaktadır.

Bununla birlikte, biyokömür üretimi sırasında bazı dezavantajlar da ortaya çıkabilir. Örneğin, tarımsal atıkların coğrafi olarak uzak bölgelerde toplanması, ek taşıma maliyetlerine yol açabilir. Ancak bu sınırlamalara rağmen, biyokömürün çevre dostu bir çözüm olarak kullanımı, atık sulardan ağır metallerin giderilmesi için etkili bir yöntemdir ve sürdürülebilir atık yönetimi için önemli bir katkı sunmaktadır.

Bu sonuçlar, biyokömürün çevresel faydalarını vurgulamakta ve gelecekteki uygulamalar için değerli bir rehber sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] K. R. Thines, E. C. Abdullah, N. M. Mubarak, and M. Ruthiraan, "Synthesis of magnetic biochar from agricultural waste biomass to enhancing route for waste water and polymer application: A review," Jan. 01, 2017, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.rser.2016.09.057.
- [2] S. Leblebici, T. Kutlu, and D. Şenal, "Tarım Uygulamalarında Yeni Bir Yaklaşım: Biyokömür," 2016.
- [3] S. Gupta, S. Sireesha, I. Sreedhar, C. M. Patel, and K. L. Anitha, "Latest trends in heavy metal removal from wastewater by biochar based sorbents," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 38, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101561.
- [4] M. M. Manyuchi, N. Sukdeo, and W. Stinner, "Potential to remove heavy metals and cyanide from gold mining wastewater using biochar," *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 126, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.pce.2022.103110.
- [5] B. Qiu, X. Tao, H. Wang, W. Li, X. Ding, and H. Chu, "Biochar as a low-cost adsorbent for aqueous heavy metal removal: A review," May 01, 2021, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.jaap.2021.105081.
- [6] S. Wijitkosum and P. Jiwnok, "Elemental composition of biochar obtained from agricultural waste for soil amendment and carbon sequestration," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 19, Oct. 2019, doi: 10.3390/app9193980.
- [7] K. Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi *et al.*, "Tarımsal Atıklardan Elde Edilen Biyokömürün Toprak Kalitesi Üzerine Etkisi," 2022. [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0003-2783-397X>
- [8] W. H. Chen *et al.*, "Biomass-derived biochar: From production to application in removing heavy metal-contaminated water," Apr. 01, 2022, *Institution of Chemical Engineers.* doi: 10.1016/j.psep.2022.02.061.

MOLEKÜLER DOKING İLE BAZI 1,3,4-OKSADIAZOL TÜREVLERİNİN ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTE ÇALIŞMASI

Öğr. Gör. Dr. Yasemin KEŞKEK KARABULUT

Kırklareli Üniversitesi, Rektörlük, Proje Geliştirme ve Koordinasyon Ofisi,
ykeskekkarabulut@klu.edu.tr - 0000-0002-6742-783X

Öğr. Gör. Dr. Erhan ÖZTÜRK

Iğdır Üniversitesi, Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi,
kimyagerhan@hotmail.com- 0000-0003-4006-2428

Doç. Dr. Zeynep Şilan TURHAN

Iğdır Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyokimya,
zeynepsilanturhan@hotmail.com- 0000-0002-3587-2576

ÖZET

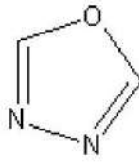
Heterosiklik bileşikler, organik, farmasötik ve biyokimya gibi birçok alanda büyük öneme sahiptir. Bu alandaki en önemli bileşiklerden biri olan 1,3,4-oksadiazol türevleri, bir oksijen ve iki azot atomu içeren beş üyeli heterosiklik bileşiklerdir. Bu türevler ilaç endüstrisi, malzeme bilimi ve organik sentez gibi çok çeşitli alanlarda kullanılır. 1,3,4- oksadiazoller antipanozomal, antibakteriyel, antikoksidyal, fungusidal, herbisit, insektisit, antitümör, hipoglisemik, diüretik, antiinflamatuvar, antiviral, antiasetilkolin, stearaz, antitüberküloz, sakinleştirici ve sedatif gibi bazı ilginç farmakolojik özellikler gösterdiği de literatürde mevcuttur.

İlgili çalışmada; 1,3,4-oksadiazol türevlerinin antimikrobiyal etkilerini belirlemek amacıyla 4PRV proteini olan Escherichia coli bakterisinin reseptörü ile doking çalışmaları Autodock Vina programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. RSCB Database veritabanından çözünme şekli, çözünürlük katsayısı, mutasyon varlığı, çözünme yılı dikkate alınarak seçilen 4PRV kodlu çözünmüş enzim doking işlemi için seçilmiştir. Gaussian 09W ile çizilen moleküllerin minimum enerjiye sahip en kararlı yapılarını bulmak için optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Optimize edilen moleküller .pdb formatına çevrilerek doking işlemi için hazırlanmıştır. İlgili türevlerin E. coli 4PRV protein reseptörü ile kompleks içindeki konumu ve moleküller arası etkileşimleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 1,3,4-Oksadiazol, Doking, Autodock Vina, Antimikrobiyal Aktivite.

1. GİRİŞ

Oksadiazoller, yapılarında iki nitrojen atomu ve bir oksijen atomu içeren beş üyeli heterosiklik bileşiklerdir. Birçok ilacın yapısında bulunan oksadiazolün çeşitli izomerik formlarını ayırt edebiliriz, örneğin antikanser zibotentan, antimikrobiyal furamizol, antiviral raltegravir, Duchenne kas distrofisi için ataluren. En umut verici yapılar 1,3,4-oksadiazol türevleridir [1]. 1,3,4-Oksadiazol halkası, anti-inflamatuar, hipoglisemik, antifungal ve antibakteriyel aktiviteler gibi birçok biyolojik özellik ile ilişkilidir [2]. Ayrıcalıklı beş üyeli bir heterosiklik yapı olan 1,3,4-Oksadiazol, türevlerine çok çeşitli etkili biyolojik işlevler sağlar. Ayrıca bu yapı, mantarlara ve bakterilere önemli biyolojik özellikleri nedeniyle tıbbi ve pestisit kimyasında bir odak noktası haline gelmiştir [3].



Görsel 1. 1,3,4-Oksadiazol Kimyasal Yapısı

On dokuzuncu yüzyılın sonunda, 1,3,4-oksadiazolün ilk türevleri sentezlendi. Bu molekül üzerindeki araştırma miktarı yirminci yüzyılın 1950'lerinden 1960'larına kadar yoğunlaştı [4]. Günümüzde bilim insanları 1,3,4-oksadiazol türevlerinin hazırlanması için çeşitli yollar kullanmaktadır, bunlardan bazıları daha önceki geliştirilmiş yöntemlerdir. Son yirmi yılda 1,3,4-oksadiazol halkası üzerine yapılan araştırmalarda önemli bir artış gözlemlenebilir [5]. 1,3,4-oksadiazol halkasının varlığı, tüm bileşiğin fizikokimyasal ve farmakokinetik özelliklerini etkiler. 1,3,4-oksadiazol halkası, karboksilik asitler, esterler ve amitler gibi karbonil içeren moleküller için bir biyoizoster olarak tıbbi kimyada ilgi uyandırmıştır. Oksadiazol halkası ayrıca bir liganda bağlanabilen farmakoforun önemli bir parçası olarak kullanılır. Bazı durumlarda, yapının uygun yönelimini sağlamak için düz bir aromatik bağlayıcı görevi görür [6].


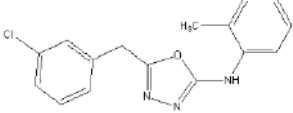
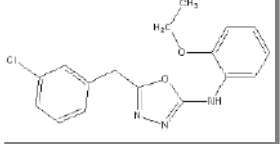
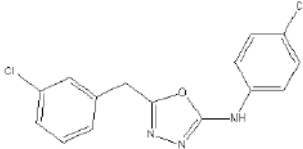
1,3,4-oksadiazol halkasının bu özellikleri, bu molekülün çok çeşitli farmasötik uygulamalarına yol açmıştır. Literatüre göre, uzun yıllardır, dünyanın dört bir yanındaki bilim insanları, anti-inflamatuar, analjezik, anti-depresif, antikanser ve anti-diyabetik etki dahil olmak üzere geniş bir biyolojik aktivite spektrumu gösteren 1,3,4-oksadiazol çekirdeğini içeren yeni bileşikler sentezlemektedir. Dahası, yapısında 1,3,4-oksadiazol halkası içeren bileşiklerin geniş antimikrobiyal aktivitesini doğrulayan çok sayıda literatür raporu vardır [1].

Antibakteriyel direnç, küresel çaptaki sağlık sorunları arasında en büyük olanıdır ve halk sağlığını da oldukça fazla tehdit eder. Yeni nesil antibiyotiklerin kullanılması, doğal antibakteriyellerde kombinasyon ve antibakteriyel özellik gösteren kimyasal yapıların hibridizasyonu (yeni türevlerin oluşturulması) bu alandaki önemli yaklaşımlar arasında yer alır. Hibridizasyon, ilaç dirençlerini yenmek ve biyolojik aktiviteleri arttırmak için ilaç geliştirmek amacıyla son yıllarda oldukça sık kullanılan umut vadeden bir yöntemdir [7]. 1,3,4-oksadiazol ve türevlerinin potansiyel antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu bilinmektedir. 1,3,4-oksadiazol bileşiğinin diğer farmakoforlarla türevlerinin oluşturulması, daha yüksek verimliliğe sahip yeni

antibakteriyel ajan adayları sağlayabilir. Bu bağlamda, 2008 yılında yapılan bir çalışmada da 1,3,4-oksadiazol türevleri oluşturularak antibakteriyel aktivite gözlenmeye çalışılmıştır. Sonuçlarda, bazı türevlerin ilaç olarak piyasada bulunan siprofloksasine kıyasla arttığı bulunmuştur [8].

Moleküler yerleştirme yöntemi, bir bağlanma modeli oluşturan iki molekülün etkileşimini tahmin etmek için kullanılan hesaplamalı bir yöntemdir. Birçok ilaç keşfi uygulamasında kenetlenme, küçük bir molekül ile bir makromolekül arasında, örneğin protein-ligand kenetlenmesiyle yapılır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda ise, kenetlenme, örneğin protein-protein kenetlenmesi gibi iki makromolekül arasındaki bağlanma modunu tahmin etmek için de uygulanmaktadır. Son 15 yıldan fazla bir süredir moleküler yerleştirmeye ilgili yayınların sayısı önemli ölçüde artmıştır [9]. Moleküler yerleştirme gibi yaklaşımlar günümüzde milyonlarca bileşiğin uygun bir sürede sanal olarak taranmasını sağlayarak, deneysel çalışmaların tanımlamasının ilk maliyetlerini düşürmekte ve istenen ilaç adaylarını bulma şansını artırmaktadır. Şu anda, ilaç keşfi görevlerini kolaylaştırmak için çeşitli moleküler modelleme teknikleri mevcuttur ve bunların çoğu yapı tabanlı ve ligand tabanlı yaklaşımlar olarak sınıflandırılmaktadır [10]. Bu çalışmada da ligand tabanlı yaklaşımlar temel alınarak bir moleküler yerleştirme programı olan Autodock Vina programı kullanılmıştır.

Çizelge 1. 1,3,4-oksadiazol ve Türevlerinin Kimyasal Yapıları

Yapı	Kimyasal Yapısı
1,3,4- oksadiazol	
4A	
4C	
4D	

Çalışmada, literatürden alınan [8], MIC çalışmaları yapılmış ve antibakteriyel özelliğe sahip bazı 1,3,4-oksadiazol ve türevlerinin (4A, 4C, 4D) E.coli proteini ile moleküler etkileşimleri ve bağlanma durumlarını değerlendirmek adına doking çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan bileşiklerin kimyasal yapıları Çizelge 1’de gösterilmiştir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Gaussian 09 ve Gausview 5.0.8

Gaussian09 paket programı, moleküler sistemlerin elektronik yapılarını araştırmak amacıyla geliştirilmiş, yaygın olarak tercih edilen bir hesaplamalı kimya yazılımıdır. Kimya alanındaki geleneksel ve ileri düzey araştırmalara katkı sağlayan bu program, deneysel yöntemlerle incelenmesi güç ya da imkânsız olan moleküller, geçiş halleri ve ara ürünlerin detaylı analizinde etkin bir rol oynamaktadır. Aynı zamanda, potansiyel reaksiyon mekanizmalarını değerlendiren araştırmacılar için de önemli bir araç niteliğindedir. Gaussian09, moleküllerin enerji seviyeleri, yapısal özellikleri ve spektral analizleri gibi çeşitli alanlarda kapsamlı modelleme olanağı sunarak hesaplamalı kimya çalışmalarına büyük katkı sağlar [11].

GaussView 5.0.8, Gaussian yazılımına ait paket programlar için giriş (input) dosyalarını oluşturmak ve Gaussian çıktılarının görselleştirilmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiş bir grafik arayüzdür. Bu arayüz, Gaussian formatında tanımlanan moleküllerin görsel olarak incelenmesine olanak tanır ve yapıların döndürülmesi, taşınması veya moleküler değişikliklerin yapılmasını kolaylaştırır. Ayrıca, karmaşık hesaplamalar için dahi giriş dosyalarının hızlı ve pratik bir şekilde hazırlanmasını mümkün kılar [12].

2.2. Autodock Vina ve Autodock Tools

AutoDock Vina, 2010 yılında AutoDock'un geliştirildiği laboratuvar tarafından tasarlanmış bir kenetlenme (docking) yazılımıdır. Program, yerel ve global optimizasyon tekniklerini bir arada kullanan etkili bir algoritmaya sahiptir. AutoDock Vina, önceki versiyon olan AutoDock'a kıyasla yaklaşık iki kat daha hızlı kenetlenme işlemi gerçekleştirebilmektedir. Diğer docking yazılımlarında olduğu gibi, bu yazılım da sistemin kimyasal potansiyellerini yaklaşık olarak değerlendiren bir skorlama fonksiyonuna dayanır. AutoDock Vina'da kullanılan skorlama fonksiyonu, Xscore'un geliştirilmiş bir versiyonudur.

Skorlama fonksiyonları, fizik tabanlı terimler olan 6-12 van der Waals etkileşimlerini ve Coulomb enerjilerini içermektedir. Ancak, deneysel enerji ile serbest enerji değerleri arasındaki farklılıkları daha doğru bir şekilde yansıtabilmek için bu fonksiyonlarda bazı düzenlemeler yapılması gerekebilir. Bu bağlamda, hidrofobik atomlar arasındaki hidrofobik etkileşimler, hidrojen bağları ve atom çiftleri arasındaki sterik etkileşimlerin toplam etkisi dikkate alınmalıdır. Bu parametrelerin skorlama fonksiyonuna dahil edilmesi, hassasiyetin artırılması adına konfigürasyon dosyasında özelleştirmeler yapılmasını gerektirebilir [13]. Ayrıca, AutoDockTools (ADT) olarak bilinen bir grafik kullanıcı arayüzü de mevcuttur. ADT, liganda hangi bağların dönebilir olarak tanımlanacağını ayarlamak ve yerleştirme sonuçlarını analiz etmek gibi işlemlerde araştırmacılara kolaylık sağlamaktadır [14]

2.3. RSCB Veritabanı

Protein Veri Bankası (PDB), proteinler ve nükleik asitler gibi büyük biyolojik moleküllerin üç boyutlu yapılarını içeren bir veritabanıdır. Bu veritabanındaki yapısal bilgiler, genellikle X-ışını kristalografisi veya nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi yöntemleriyle elde edilmektedir. Araştırmacılar, Protein Veri Bankası'nda sunulan bu yapı verilerine dünyanın her yerinden ücretsiz olarak erişim sağlayabilirler. Veritabanında yer alan makromoleküller, .pdb dosya formatında sunulmaktadır. Bu dosyalar, adlandırılırken bir rakam ve belirli bir harf kodlama sisteminden oluşan toplam dört karakter kullanılır. PDB dosya formatı; proteinin

atomik koordinatlarını, birincil ve ikincil yapı bilgilerini, kristalografik yapı faktörlerini, çözünme değerlerini ve yapı dizilim bilgilerini içerir. Ayrıca, bu dosya formatı, ilaç tasarımı yaygın olarak kullanılan yazılımların büyük çoğunluğu tarafından sorunsuz bir şekilde entegre edilebilmektedir [15].

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada 1,3,4-oksadiazol ve bu yapının türevlerinin (4A, 4C ve 4D) antibakteriyel etkilere sahip ilaç adayları olabileceği özelliklerini değerlendirmek amacıyla doking hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalar öncesinde 1,3,4-oksadiazol ve ligand olarak isimlendirilen türevleri (4A, 4C, 4D) doking işlemi için hazırlanmıştır.

3.1. Enzim Seçimi

RSCB Database veritabanından çözünme şekli, çözünürlük katsayısı, mutasyon varlığı, çözünme yılı dikkate alınarak seçilen 4PRV kodlu çözünmüş enzim seçilmiştir. 4PRV yapısı, DNA girazı, bakteriyel DNA replikasyonu ve transkripsiyonunda rol alan bir bakteriyel enzimdir ve antibiyotikler için doğrulanmış bir hedeftir. Bu kompleksi incelemek, DNA girazını hedefleyen antibiyotiklerin etki mekanizması hakkında bilgi sağlar. Çizelge 2’de seçilen 4PRV kodlu enzimin yapısal özellikleri görülmektedir.

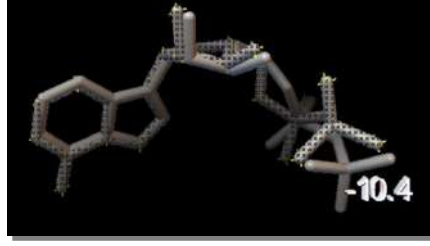
Çizelge 2. 4PRV Enzim Yapısı [16]

Kod	Kaynak	Mutasyon	Çözünürlük	Metod	Yıl	Ligandı	Tanım
4PRV	Escherichia coli	Yok	2.00 A ⁰	X-Ray	2014	ADP, MG	E. coli GyrB 43-kDa N-terminal fragment in complex with ADP

3.2. Autodock Vina Validasyonu

Doking metodunun validasyonu, X-ray yapısında enzim içinde bulunan ligandın yapıdan çıkarılarak aynı enzim molekülüne doking programı yardımıyla yeniden yerleştirilmesi ve elde edilen konformasyonların referans yapıdaki konformasyondan sapmasının incelenmesi ile gerçekleştirilir. İlgili çalışmada validasyon için, kullanılan 4PRV yapısının içindeki ADP ligandı kullanıldı. Enzimden çıkarılan ADP ligandı AutoDock Vina programı kullanılarak tekrar bulunduğu bölgeye 4PRV enzimi ile doking işlemi gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle 4PRV yapısı içerisinde bulunan tüm su molekülleri ve Mg iyonu ADT kullanıcı arayüzü yardımıyla silindi. Daha sonra ligand olarak bulunan ADP yapısı, 4PRV yapısından yine ADT kullanıcı arayüzü yardımıyla ayrıldı. Doking sonucunda en iyi yerleşme gösteren ligand konformasyonunun RMSD değeri 1,425 A⁰ olarak bulunmuştur. RMSD değeri 2 A⁰’dan küçük olduğundan dolayı AutoDock Vina programının seçilen sistem için uygun olduğu belirlenmiştir [17]. Görsel 2’de ADP ligandının doking sonrası en iyi konformasyonunun ilk durum ile çakışması gösterilmektedir.

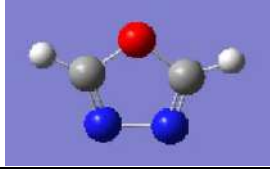
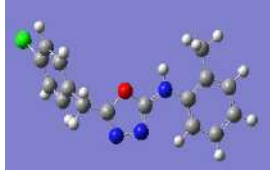
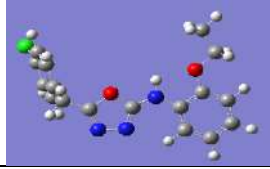
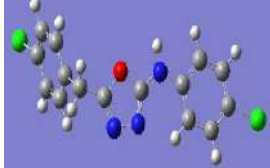


Görsel 2. Enzim aktif bölgesindeki ADP ligandının doking öncesi ve sonrası görüntüsü

3.3. Doking Hesaplaması için Ligandların Hazırlanması

1,3,4-oksadiazol ve 4A, 4C, 4D türevleri yapıları Gaussian09 programı arayüzü yardımıyla çizilmiştir ve gaz fazında DFT/B3LYP seviyesinde 6-311+G basis seti ile optimize edilmiştir. Doking çalışmalarından önce ligand moleküllerinin optimize edilmesinin sebebi en kararlı konformasyonun doking çalışmalarında kullanılması sebebiyledir. Çizelge 3’de ligand olarak kullanılacak yapıların optimizasyon sonrası görüntüleri verilmiştir.

Çizelge 3. Ligandların optimizasyon sonrası üç boyutlu görüntüleri

Yapı	3D
1,3,4-oksadiazol	
4A	
4C	
4D	

Gaussian09 programı yardımıyla oluşturulan .log dosyaları doking hesaplamalarında kullanılmak üzere .pdb dosya formatına çevrilmiştir ve kenetlenme hesaplamalarında bu yapılar kullanılmıştır. ADT Tools yardımı ile açılan ligand dosyalarının öncelikle torsiyon kökü ve

ligand molekülündeki torsiyon sayısı belirlenmiştir. Son olarak elde edilen yapı molekülleri .pdbqt formatında kaydedilmiş ve doking işlemi için hazır hale getirilmiştir.

3.4. Doking Hesaplamaları

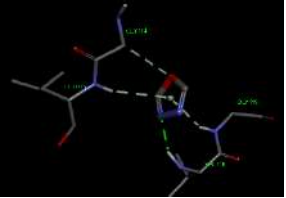
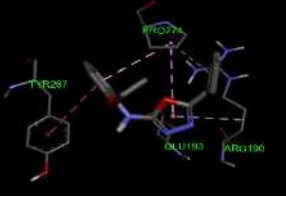
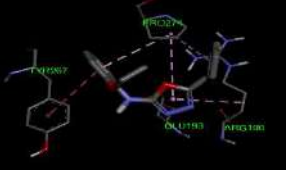
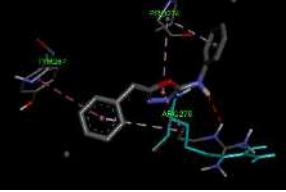
AutoDock Vina ile doking işlemi gerçekleştirmek için, ADT arayüzü kullanılarak hazırlanan .pdbqt formatındaki enzim ve ligand dosyalarını içeren bir konfigürasyon dosyası oluşturulmuştur. Bu dosyada; doking yapılacak enzim ve ligand dosyalarının isimleri ve formatları, hedef bölgenin kartezyen koordinatları ve doking alanının genişliğini tanımlayan parametreler yer almaktadır. Ayrıca, doking işleminin gerçekleştirileceği grid haritasının kartezyen koordinatları ve grid kutusunun boyut bilgileri de bu dosyada tanımlanmıştır. Konfigürasyon dosyası, ligandların ve makromoleküllerin hazırlanmasından sonra AutoDock Vina tarafından hesaplamalarda kullanılan tek giriş dosyasıdır. Program tarafından 1,3,4-oksadiazol ve 4A, 4C, 4D türevleri için bir log ve out dosyası yine .pdbqt formatında oluşturulmuştur. Çizelge 4’de oluşturulan log dosyaları görülmektedir.

Çizelge 4. Ligandların Autodock Vina programı tarafından oluşturulan log dosyaları

mode	affinity (kcal/mol)	dist from best mode rmsd l.b. rmsd u.b.	mode	affinity (kcal/mol)	dist from best mode rmsd l.b. rmsd u.b.	mode	affinity (kcal/mol)	dist from best mode rmsd l.b. rmsd u.b.	mode	affinity (kcal/mol)	dist from best mode rmsd l.b. rmsd u.b.
1	-4.3	0.000 0.000	1	-8.1	0.000 0.000	1	-7.6	0.000 0.000	1	-1.9	0.000 0.000
2	-4.3	0.013 1.854	2	-1.9	1.906 4.022	2	-7.2	2.972 1.229	2	-1.8	0.036 8.550
3	-3.9	2.036 2.834	3	-1.9	3.401 7.319	3	-7.5	20.488 22.281	3	-1.8	2.256 8.420
4	-3.8	2.230 2.620	4	1.8	3.438 7.336	4	-7.4	20.208 22.552	4	-1.8	2.214 8.112
5	-3.6	4.834 5.257	5	1.8	3.762 8.718	5	7.0	2.987 6.237	5	-1.8	1.805 2.924
6	-3.4	10.206 10.395	6	-1.8	3.808 8.238	6	-7.3	1.320 1.059	6	-1.8	2.780 7.412
7	-3.4	11.053 11.349	7	-1.7	1.962 3.062	7	-7.3	2.826 6.728	7	-1.8	2.364 8.244
8	-3.4	11.052 11.401	8	-1.3	1.423 2.389	8	-7.2	2.204 3.328	8	1.8	0.385 2.161
9	-3.2	14.078 14.468	9	-1.5	2.750 3.793	9	-7.2	4.492 6.172	9	1.8	7.846 13.550
Waiting output ... done.			Waiting output ... done.			Waiting output ... done.			Waiting output ... done.		
1,3,4-oksadiazol			4A			4C			4D		

Her bir yapı için 9 konformasyon belirlenmiştir ve sonuçlar ADT kullanıcı arayüzü yardımıyla yorumlanmıştır. En iyi bağlanmayı gösteren konformasyon seçilmiş ve aktif bölgede etkileşimde olduğu aminoasitler, etkileşim çeşitleri, aktif bölgedeki üç boyutlu pozisyonları Çizelge 5’de incelenmiştir.

Çizelge 5. Ligandların aktif bölgedeki etkileşimleri ve 3 boyutlu görüntüleri

Yapı	Bağlanma Enerjisi	Etkileşimler	Etkileşimdeki Aminoasitler	3 Boyutlu Görüntü
1,3,4-oksadiazol	-4,3x kcal/mol	1 H bağı (VAL118) Pi-donör etkileşimleri	GLY114, GLY119, LEU115, VAL118	
4A	-8.1 kcal/mol	Pi-anyon etkileşimleri, Pi-alkil etkileşimleri	TYR267, PRO274, GLU193, ARG190	
4C	-7.6 kcal/mol	Pi-anyon etkileşimleri, Pi-alkil etkileşimleri	TYR267, PRO274, GLU193, ARG190	
4D	-7.9 kcal/mol	Pi-Alkil Etkileşimleri, Pi-orbital Etkileşimleri	PRO274, ARG276, TYR267	

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Çalışmada, 1,3,4-oksadiazol yapısı ve bu yapının türevlerinin (4A, 4C, 4D) antibakteriyel etkilerini belirlemek amacıyla 4PRV proteini olan Escherichia coli bakterisinin reseptörü ile doking çalışmaları Autodock Vina programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. 4A, 4C ve 4D olarak isimlendirilen türevlerin seçiminde ise 2008 yılında yapılan deneysel olarak antibakteriyel özellikleri tanımlanmış yapılar tercih edilmiştir [8]. Ligand olarak belirlenen yapıların E.coli 4PRV protein reseptörü ile kompleks içindeki konumu ve moleküller arası etkileşimleri değerlendirilmiştir.

Docking hesaplamaları sonrası elde edilen bağlanma enerjileri ve aktif bölgedeki etkileşimler dikkate alındığında en iyi bağlanmayı **4A** türevinin gösterdiği ve çalışılan yapılardan en düşük bağlanmayı antibakteriyel özelliğinin var olduğu bilinen 1,3,4-oksadiazol yapısının gösterdiği görülmüştür. Ligand olarak seçilen tüm moleküler yapılar incelendiğinde yapıda -Cl (klor) ve -CH₃ (metil) grubu varlığının bağlanmayı (antibakteriyel aktiviteyi) arttırdığı görülmüştür. Öte yandan, yapıda **4C** yapısında olduğu gibi dallanmanın artması ise antibakteriyel ajan olarak aktiviteyi azalttığını göstermiştir. Sonuçlar, yeni antibakteriyel ajan yapılarının moleküler olarak tasarlanmasında yol gösterici olabilir.

KAYNAKÇA

1. Glomb, T., & Świątek, P. Antimicrobial activity of 1, 3, 4-oxadiazole derivatives. *International journal of molecular sciences*, 22(13), 6979, 2021.
2. Şahin, G., Palaska, E., Ekizoğlu, M., & Özalp, M. Synthesis and antimicrobial activity of some 1, 3, 4-oxadiazole derivatives. *Il Farmaco*, 57(7), 539-542, 2002.
3. Song, X., Li, P., Li, M., Yang, A., Yu, L., Luo, L., ... & Song, B. Synthesis and investigation of the antibacterial activity and action mechanism of 1, 3, 4-oxadiazole thioether derivatives. *Pesticide biochemistry and physiology*, 147, 11-19, 2018.
4. Hetzheim, A., & Möckel, K. Recent advances in 1, 3, 4-oxadiazole chemistry. *Advances in heterocyclic chemistry*, 7, 183-224, 1967.
5. De Oliveira, C. S., Lira, B. F., Barbosa-Filho, J. M., Lorenzo, J. G. F., & de Athayde-Filho, P. F. Synthetic approaches and pharmacological activity of 1, 3, 4-oxadiazoles: a review of the literature from 2000–2012. *Molecules*, 17(9), 10192-10231, 2012.
6. Boström, J., Hogner, A., Llinàs, A., Wellner, E., & Plowright, A. T. Oxadiazoles in medicinal chemistry. *Journal of medicinal chemistry*, 55(5), 1817-1830, 2012.
7. Farhadi, F., Khameneh, B., Iranshahi, M., & Iranshahi, M. Antibacterial activity of flavonoids and their structure–activity relationship: An update review. *Phytotherapy Research*, 33(1), 13-40, 2019.
8. Desai, N. C., Bhavsar, A. M., Shah, M. D., & Saxena, A. K. Synthesis and QSAR studies of thiosemicarbazides, 1, 2, 4-triazoles, 1, 3, 4-thiadiazoles and 1, 3, 4-oxadiazoles derivatives as potential antibacterial agents, *Indian Journal of Chemistry*, Vol.47B, 579-589, 2008.
9. Prieto-Martínez, F. D., Arciniega, M., & Medina-Franco, J. L. Molecular docking: current advances and challenges. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 21, 2018.
10. Pinzi, L., & Rastelli, G. Molecular docking: shifting paradigms in drug discovery. *International journal of molecular sciences*, 20(18), 4331, 2019.
11. Frisch, M. E., Trucks, G. W., Schlegel, H. B., Scuseria, G. E., Robb, M. A., Cheeseman, J. R., Scalmani, G., Barone, V., Mennucci, B., Petersson, G. A., & Nakatsuji, H. *Gaussian 09 (Revision A. 02).* Gaussian Inc., Wallingford, 2009.
12. Dennington, R., Keith, T., & Millam, J. GaussView, version 5, 2009.

13. Trott, O., & Olson, A. J. AutoDock Vina: Improving the Speed and Accuracy of Docking with a New Scoring Function, Efficient Optimization, and Multithreading, *Journal of Computational Chemistry*, 31(2), 455–461, 2010.
14. Morris, G. M., Huey, R., Lindstrom, W., Sanner, M. F., Belew, R. K., Goodsell, D. S., & Olson, A. J. AutoDock4 and AutoDockTools4: Automated docking with selective receptor flexibility, *Journal of computational chemistry*, 30(16), 2785-2791, 2009.
15. Berman, H. M., Westbrook, J., Feng, Z., Gilliland, G., Bhat, T. N., Weissig, H., ... & Bourne, P. E. The protein data bank. *Nucleic acids research*, 28(1), 235-242, 2000.
16. Stanger, F. V., Dehio, C., & Schirmer, T. Structure of the N-terminal Gyrase B fragment in complex with ADP· Pi reveals rigid-body motion induced by ATP hydrolysis. *PloS one*, 9(9), e107289, 2014.
17. Keşkek Karabulut, Y., Yiğit, A., Karacali Tunç, A., Sarıtaş, B. M., Kesici, S., Uzun, Y., & Sadullahoğlu, C. MAO-A Inhibitor Properties by Molecular Modeling Method, Antimicrobial Activity and Characterization of Silver Nanoparticles Synthesized from *Lactifluus Bertillonii* Mushroom. *Duzce University Journal of Science & Technology*, 12(4), 2024.

BAZI 1, 3, 4- OKSADIAZOL TÜREVLERİNİN ANTİBİYOTİK AKTİVİTELERİNİN DFT YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Öğr. Gör. Dr., Erhan ÖZTÜRK

Iğdır Üniversitesi, Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi,
kimyagerhan@hotmail.com- 0000-0003-4006-2428

Öğr. Gör. Dr., Yasemin KEŞKEK KARABULUT

Kırklareli Üniversitesi, Rektörlük, Proje Geliştirme ve Koordinasyon Ofisi,
ykeskekcarabulut@klu.edu.tr - 0000-0002-6742-783X

Doç. Dr. Zeynep Şilan TURHAN

Iğdır Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyokimya,
zeynepsilanturhan@hotmail.com- 0000-0002-3587-2576

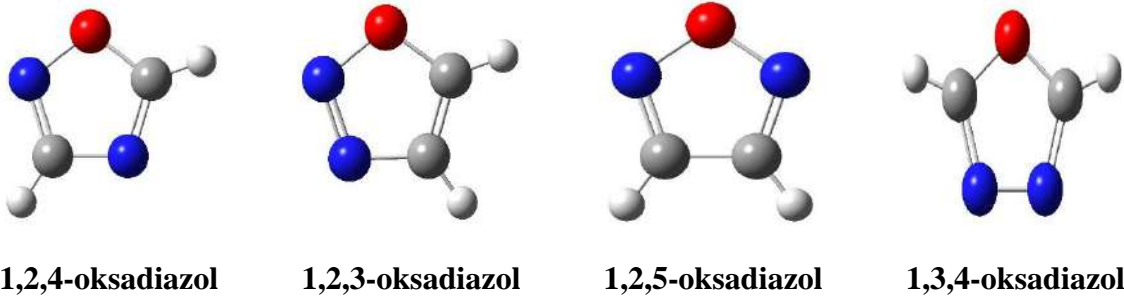
ÖZET

Oksadiazol bileşik türevleri, antibakteriyel etkileri nedeniyle özellikle kimya ve diğer alanlarda dikkat çeken zengin yapılar içerir. Bu heterosiklik bileşikler, içerdikleri oksijen ve azot atomları sayesinde farmakolojik alanlarda aktivite göstermektedir. Oksadiazol halkasının özellikle 1,2,4 veya 1,3,4 gibi farklı pozisyonlarda substitüe edilmesi, antibakteriyel aktivite özelliklerini değiştirebilir. Oksadiazol bileşik türevleri bakterilerin genetik materyaline zarar vererek yaygınlaşmasını engelleyebilir. Oksadiazol türevlerinin teorik incelemeleri Gaussian 16W ile GaussView 6.0 yardımı ile yapıldı. Tüm bileşikler için, En Yüksek İşgal Edilen Moleküler Orbital (HOMO), En Düşük Boş Moleküler Orbital (LUMO) ve yoğunluk gibi teorik hesaplamalarla elde edilen kuantum kimyasal parametreleri B3LYP / 6-311+G (d, p) seviyesinde yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) kullanılarak hesaplandı. Bu hesapsal yöntem yardımı ile toplam enerji, LUMO, moleküler ağırlık ve hacim hesaplamaları yapıldı. Antibakteriyel aktivite ile moleküler özellikleri arasındaki ilişki araştırıldı.

Anahtar kelimeler: Oksadiazol, DFT, Antimikrobiyal aktivite

1. GİRİŞ

Sağlık sorunları her geçen gün artmakta ve en ciddi klinik sorun haline gelmektedir. Son zamanlarda, tıbbi kimyagerler bu ciddi klinik sorunları tedavi etmek için güvenli bir şekilde kullanılacak yeni ilaçlar aramaktadır. Bulaşıcı hastalıkları tedavi etmek için klinik kullanımda olan çok sayıda heterosiklik bileşik bulunmaktadır (Du, Qu, Wang, Cui, & Wang, 2021; Wang et al., 2017). En yaygın heterosiklik, beş veya altı üyeli kaynaşmış halkalara sahip olan ve heteroatom olarak azot, oksijen, kükürt gruplarına sahip olanlardır. Bazen bor, silikon ve fosfor atomları heteroatom olarak kullanılabilir (Kaur, Singh, & Kaur, 2018). Oksadiazol grupları gibi azot atomu içeren heterosiklik bileşikler, tıbbi ve farmasötik kimya alanlarındaki araştırmacıların ilgisini çekmektedir (Ahsan, 2018). Oksadiazoller iki karbon, bir oksijen atomu, iki azot atomu ve iki çift bağa sahip beş üyeli heterosiklik halka olarak bilinir. Bunlar, iki metilen grubunun (= CH) iki azot (-N =) atomuyla değiştirilmesiyle furandan türetilir. Furan halkasındaki bu grupların değiştirilmesiyle aromatiklik, konjuge dien karakteri gösterecek şekilde azalmıştır. Oksadiazolün 1,2,4-oksadiazol, 1,2,3-oksadiazol, 1,2,5-oksadiazol ve 1,3,4-oksadiazol gibi dört farklı bilinen izomeri vardır (Agalave, Maujan, & Pore, 2011; Semenov & Makarova, 2011; Siwach & Verma, 2020).



Şekil 1. oksadiazolün yapısal izomerleri.

Son zamanlarda, benzersiz kimyasal yapıları ve geniş spektrumlu biyolojik özellikleri nedeniyle oksadiazol iskeletini içeren bileşiklere karşı geniş bir ilgi oluşmuştur. Oksadiazoller için ana sentetik metodolojilerin ve anti-mikrobiyal, anti-fungal aktivite, antiviral, anti-tüberküloz, anti-inflamatuar, antikonvülsan, anti-anjiyojenik, anti-proliferatif, analjezik, anti-ödem ve alzheimer aktivitesi gibi son yıllarda bildirilen geniş spektrumlu farmakolojik aktivitelerinin genel bir bakışını sunmaktadır (Tiwari et al., 2022; Vaidya et al., 2016).

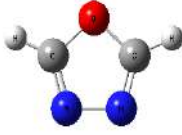
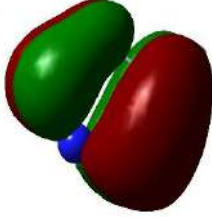
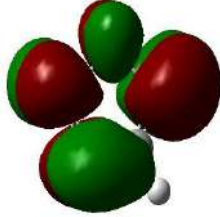
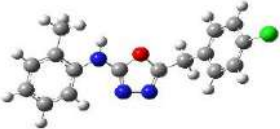
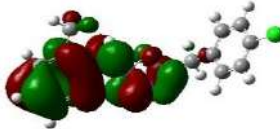
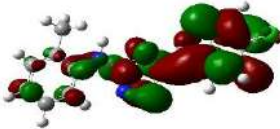

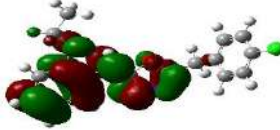
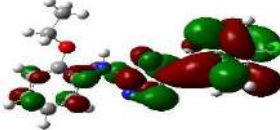

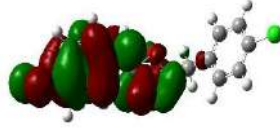
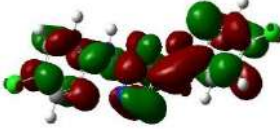
GELİŞME

Desai ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadan aktif mikrobiyal aktivite gösteren moleküllerden seçilip Gaussian temelli hesaplamalar yapıldı (Desai, Bhavsar, Shah, & Saxena, 2008). Teorik olarak sentezlenen bileşiklerin hesaplamalı çalışmaları Gaussian 16 W program paketiyle gerçekleştirildi. Tüm kimyasal sistemlerin geometrileri, standart 6-311+G(d,p) baz

setini kullanarak Becke'nin üç parametrelili hibrit fonksiyonel B3LYP'sini kullanarak simetri kısıtlamaları olmaksızın tamamen optimize edildi.

Öncelikle, enerji bant aralığını hesaplama yöntemini kontrol etmek amacıyla moleküller üzerinde bir DFT çalışması gerçekleştirildi. 6-311+G(d,p) seviyesinde düzlemsel bir geometri varsayarak tam bir geometri optimizasyonundan sonra elde edilen enerji aralıklarının değerleri sunulmaktadır (Sowrirajan, Elangovan, Ajithkumar, & Manoj, 2022; Uludağ & Serdaroğlu, 2018). Bu enerji aralıkları, LUMO (en düşük enerjili boş moleküler orbital) ile HOMO arasındaki enerji farkı olarak hesaplanmıştır. HOMO (en yüksek enerjili dolu moleküler orbital) orbitali elektron verme, LUMO orbitali ise elektron alma eğilimindedir. Tablo 1'de optimize edilmiş temel hal geometrileri, HOMO ve LUMO elektron yoğunluk görselleri verilmiştir.

Tablo 1. Optimize edilmiş temel hal geometrisi (GSG), HOMO ve LUMO diyagramları

Molekül No	GSG	HOMO	LUMO
1,3,4-oksadiazol			
4a			
4c			
4d			

Oksadiazol türevlerinin HOMO ve LUMO görsellerinde elektron yoğunluğunun farklı bölgelerde olduğu görülmektedir.

Tablo 2. HOMO, LUMO, ΔE , m, V ve d sonuçları

Molekül No	DFT / 6-311+G(d,p)					
	HOMO (au)	LUMO (au)	ΔE (au)	m (g/mol)	V (cm ³ /mol)	d (g/cm ³)
Oksadiazol	-0.3150	-0.0549	0.2601	70.016	39.066	1.792
4a	-0.2268	-0.0414	0.1854	299.082	252.453	1.184
4c	-0.2181	-0.0380	0.1801	329.093	202.813	1.622
4d	-0.2369	-0.0475	0.1894	319.027	241.448	1.321

Literatür verilerine göre antimikrobiyal ve antibakteriyel aktivite gösteren oksadiazol molekülünün türevleri olan 4a, 4c ve 4d moleküllerinin LUMO hesaplarının daha fazla aktivite gösterdiği gözlemlenmiştir. Antimikrobiyal aktivite için ikinci ve en önemli parametre olan yoğunluk hesabına göre 4a ve 4d molekülleri aktivite için en iyi adaydır.

SONUÇ

Antimikrobiyal aktivitede ilk önce moleküllerin LUMO değerlerine bakılır. En düşük LUMO değeri daha iyi aktivasyon özelliği gösterir. LUMO sonrası en önemli parametre molekül yoğunluk hesabıdır. Molekül yoğunluk hesabı antimikrobiyal aktivitenin en son ve en önemli parametresidir. Yapılan teorik hesaplamalar sonucunda 4a ve 4d en iyi antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu hesaplandı.

KAYNAKÇA

- Agalave, S. G., Maujan, S. R., & Pore, V. S. (2011). Click chemistry: 1, 2, 3-triazoles as pharmacophores. *Chemistry—An Asian Journal*, 6(10), 2696-2718.
- Ahsan, M. J. (2018). Synthesis and cytotoxicity evaluation of [(2, 4-dichlorophenoxy) methyl]-5-aryl-1, 3, 4-oxadiazole/4\$ H \$-1, 2, 4-triazole analogues. *Turkish Journal of Chemistry*, 42(5), 1334-1343.
- Desai, N., Bhavsar, A., Shah, M., & Saxena, A. K. (2008). Synthesis and QSAR studies of thiosemicarbazides, 1, 2, 4-triazoles, 1, 3, 4-thiadiazoles and 1, 3, 4-oxadiazoles derivatives as potential antibacterial agents.
- Du, Y., Qu, Z., Wang, H., Cui, H., & Wang, X. (2021). Review on the synthesis and performance for 1, 3, 4-oxadiazole-based energetic materials. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 46(6), 860-874.
- Kaur, M., Singh, S., & Kaur, M. (2018). Synthesis, spectral study and biological activity of some 2, 5-disubstituted 1, 3, 4-oxadiazole. *Eur J Pharm Med Res*, 5(9), 277-282.
- Semenov, S., & Makarova, M. (2011). 1, 2, 3-Oxadiazole rings in the aromatic compounds: A quantum-chemical investigation. *Russian Journal of General Chemistry*, 81, 1555-1557.
- Siwach, A., & Verma, P. K. (2020). Therapeutic potential of oxadiazole or furadiazole containing compounds. *BMC chemistry*, 14, 1-40.

- Sowrirajan, S., Elangovan, N., Ajithkumar, G., & Manoj, K. (2022). (E)-4-((4-Bromobenzylidene) amino)-N-(Pyrimidin-2-yl) benzenesulfonamide from 4-bromobenzaldehyde and sulfadiazine, synthesis, spectral (FTIR, UV-vis), computational (DFT, HOMO-LUMO, MEP, NBO, NPA, ELF, LOL, RDG) and molecular docking studies. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 42(10), 7616-7631.
- Tiwari, D., Narang, R., Sudhakar, K., Singh, V., Lal, S., & Devgun, M. (2022). 1, 3, 4-oxadiazole derivatives as potential antimicrobial agents. *Chemical Biology & Drug Design*, 100(6), 1086-1121.
- Uludağ, N., & Serdaroglu, G. (2018). An improved synthesis, spectroscopic (FT-IR, NMR) study and DFT computational analysis (IR, NMR, UV-Vis, MEP diagrams, NBO, NLO, FMO) of the 1, 5-methanoazocino [4, 3-b] indole core structure. *Journal of Molecular Structure*, 1155, 548-560.
- Vaidya, A., Jain, S., Jain, P., Jain, P., Tiwari, N., Jain, R., . . . K Agrawal, R. (2016). Synthesis and biological activities of oxadiazole derivatives: a review. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 16(10), 825-845.
- Wang, P.-Y., Shao, W.-B., Xue, H.-T., Fang, H.-S., Zhou, J., Wu, Z.-B., . . . Yang, S. (2017). Synthesis of novel 1, 3, 4-oxadiazole derivatives containing diamides as promising antibacterial and antiviral agents. *Research on Chemical Intermediates*, 43, 6115-6130.

Poli(Etil Metakrilat-co-Akrilamit) Nanojellerinin Sentezi ve Karakterizasyonu

Orhun HAKKOYMAZ

Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Gaziantep,
ohakkoymaz@gmail.com - 0000-0003-3134-9929

Prof. Dr. Hidayet MAZI

Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Gaziantep,
mazi@gantep.edu.tr- 0000-0001-7609-1824

ÖZET

Son yıllarda, hedefe yönelik kontrollü ilaç salımı için nanojellerin sentezi ve uygulama çalışmaları oldukça dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, kontrollü ilaç salım çalışmalarında kullanılmak üzere poli(etil metakrilat-co-akrilamit) (poli(EMA-co-AAm) nanojellerinin sentezi ve karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Nanojellerin sentezi, emülsiyon polimerizasyonu tekniğiyle 60°C’de yapıldı. Poli(EMA-co-AAm) nanojellerinin karakterizasyonu şişme deneyleri, FT-IR, TGA ve Zeta Sizer yöntemleriyle gerçekleştirildi. Şişme deneyleri, farklı sıcaklıklar (25, 37, 39 ve 41°C) ve farklı pH değerlerine (2.0, 4.0, 5.4, 7.4 ve 10.0) sahip tampon çözeltilerinde yapıldı. FT-IR analizleri, nanojellerin oluştuğunu göstermiştir. Termal analiz (TGA) sonuçları, nanojellerin 185°C’de bozunmaya başladığını, 530°C civarında bittiğini ve üç basamakta gerçekleştiğini ortaya koydu. Zeta Sizer analiz sonuçları, sentezlenen nanojellerin ortalama olarak 23.17 nm boyutta ve PDI değerinin 0.270 olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, poli(EMA-co-AAm) nanojellerinin hedefe yönelik kontrollü salım çalışmalarında kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanojel, Akrilamid, Etil Metakrilat

1. GİRİŞ

Son yıllarda hidrojellere olan ilgi olağanüstü derecede artmıştır. Hidrojeller, yüksek miktarda su tutabilen, çapraz bağlı makromoleküler zincirlerden oluşan, üç boyutlu hidrofilik ağlardır[1]. Bu çok yönlülükleri sayesinde ilaç salımı[2, 3-5], sensörler[6], doku mühendisliği [7], bebek bezleri[8], tarım[9] gibi geniş kapsamlı uygulamalarıyla tanınan bir polimerik malzeme sınıfıdır. Hidrojeller, fiziksel etkileşimler veya kovalent bağlarla elde edilebilirler[10]. Fiziksel çapraz bağlı olarak adlandırılan hidrojeller, kovalent olmayan bağlar ve etkileşimlerle oluşturulurlar[11]. Ancak hidrojeller ile onlara tutunan partiküller arasındaki bağlar kovalent olabilir[12]. Kimyasal çapraz bağlı hidrojeller ise kovalent bağlarla çapraz bağlanmış olan jellerdir. Bu jellerde jeller ile onlara tutunan tanecikler arasındaki etkileşimler genellikle H-bağları gibi zayıf etkileşimlerdir[13].

Nanojeller, hem hidrojellerin hem de nanopartiküllerin avantajlı özelliklerini birleştiren, fiziksel veya kimyasal yöntemlerle çapraz bağlanan polimer ağlarından oluşan nanometre

boyutlu hidrojel parçacıklarıdır[14]. Tipik olarak 20 ila 200 nm arasında değişen çaplarla nanojeller, geleneksel nanopartiküllerle karşılaştırılabilir bir boyuta sahip olup, fizyolojik engelleri daha büyük hidrojellerden daha etkili bir şekilde aşmalarına olanak tanır[15]. Bu optimum boyut aralığı aynı zamanda daha yüksek bir yüzey alanı sağlayarak verimli malzeme alışverişini ve çevreleriyle etkileşimi kolaylaştırır. Yapısal olarak, polimer ağları önemli miktarda suyu emebilir, jel benzeri özellikler, şekil tutma ve bir miktar esneklik kazandırabilir. İşlevsel olarak nanojeller sıcaklık, pH ve iyon gücü gibi çevresel uyarılara duyarlıdır. Bu özelliklerinden dolayı nanojeller, tümör hedefleme için çeşitli avantajlar sunar[16]. Birincisi, kanser hücrelerinin hassas bir şekilde hedeflenmesini sağlayarak sağlıklı dokulara verilen zararı en aza indirir ve tedavi sırasındaki olumsuz etkileri azaltır[17,18]. İkincisi, uyarılara yanıt verme yeteneklerinden dolayı nanojeller, ilaçları en uygun zamanlarda salabilir ve tedavinin uzay-zamansal kontrolünü daha da geliştirebilir[19,20].

Akrilamitin polimerleri, yüksek su tutma ve olağanüstü su emme özellikleri nedeniyle çok iyi bilinir ve bu da onları yara pansuman uygulamaları için son derece uygun kılmaktadır[21]. Buna ek olarak bu polimerler, yaradan fazla eksudatın emilmesine olanak tanıyan mükemmel su emme kapasitesine sahiptir ve böylece normal fizyolojik koşulların korunmasını destekler[22,23]. Akrilamit polimerleri biyoyumlu olmasına ve iyileşmeyi desteklemesine rağmen, tek başına kullanıldığında kırılabilirlik ve sınırlı mekanik mukavemet sergiler. Örneğin, poliakrilamit yalnızca gevşek bir çapraz bağlı ağ yapısı oluşturmak üzere polimerize edilebilir; esneklik sağlar ancak nispeten kırılabilir ve kırılmaya eğilimlidir. Bu, yara pansumanlarına uygunluğunu önemli ölçüde etkiler[24,25]. Araştırmacılar, poliakrilamit yapısını desteklemek için sentez aşamasında yanına hidrofobik bir monomer koyarak bu sorunun üstesinden geldiler ve sonuçta dayanıklılık ve esnekliği birleştiren bir hidrojel ortaya çıktı[13].

Bu çalışma kapsamında, ilerde kontrollü ilaç salımında kullanılabilme potansiyeli olabilecek nitelikte akrilamit-etil metakrilat kopolimer nanojellerinin sentezlenmesi ve karakterizasyonu hedeflenmiştir. Kopolimer nanojeller, emülsiyon polimerizasyonu tekniğiyle sentezlenmiştir. Karakterizasyon için FTIR, TGA, Zeta-Sizer cihazları kullanılmış ve şişme çalışmaları yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal Metod

Nanojelin sentezinde kullanılan monomerler (etil metakrilat (MMA), akrilamit (AAM)), çapraz bağlayıcı (etilen glikol dimetakrilat (EGDMA)) ve başlatıcı (amonyum persülfat (APS)) Sigma-Aldrich firmasından temin edildi. Emülsifiye edici ajan olarak kullanılan sodyum dodesil sülfat (SDS) ve sodyum klorür (NaCl) Merck firmasından temin edildi ve herhangi bir saflaştırma işlemi yapılmadan alındığı gibi kullanıldı. Tampon çözeltilerinin hazırlanmasında kullanılan tüm asitler ve bazlar da Sigma-Aldrich firmasından alındı ve alındığı gibi kullanıldı.

2.2. Nanojel Sentezi

Nanojellerin sentezi, farklı monomer mol oranları ve çapraz bağlayıcı konsantrasyonu kullanılarak sentezlendi. Sentezde kullanılan kimyasallar ve miktarları **Çizelge 1**'de verilmiştir.

Çizelge 1. Poli(EMA-co-AAm) nanojellerinin sentezinde kullanılan kimyasallar.

Nanojel Kodu	EMA (mmol)	AAm (mmol)	EMA/AAm	EGDMA (mmol)
EMA-1	1	6,5	0,15	0,3
EMA-2	1,9	5,6	0,34	0,3
EMA-3	2,8	4,7	0,60	0,3
EMA-4	3,7	3,7	1,00	0,3
EMA-5	4,2	3,2	1,31	0,3
EMA-6	4,6	2,3	2,00	0,3
EMA-7	5,7	1,8	3,17	0,3
EMA-8	3,7	3,7	1,00	0,5
EMA-9	3,7	3,7	1,00	1,1

Nanojellerin sentezi şu şekilde yapılmıştır. 25 mL'lik reaksiyon balonuna 10 mL 0.5 M NaCl_(aq) ve 0.25 g SDS koyuldu. 40°C'deki yağ banyosuna yerleştirilen balon manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. SDS iyice çözüldükten sonra, gerekli miktardaki AAm eklendi ve çözünmesi sağlandı. Daha sonra balona 1 mL %1'lik APS çözeltisi eklendi. Diğer taraftan bir deney tüpüne gerekli olan EMA ve EGDMA miktarları alınıp bir tüpe aktarıldı ve karışmaları sağlandı. Deney tüpündeki akrilat karışımı saniyede bir damla olacak şekilde yavaş yavaş balona damlatıldı. Bu arada yağ banyosunun sıcaklığı 65°C'ye getirildi. Akrilat eklemesi bittikten sonra reaksiyonun tamamlanması için 1 saat daha beklendi. Reaksiyon bittikten sonra balon çıkarılıp soğumaya bırakıldı. Sentezlenen nanojeller süzgeç kağıdıyla süzüldü. Nanojeller, su ile yıkandıktan sonra liyofilizasyon işlemiyle kurutuldu ve karakterizasyonda kullanıldı.

2.3. Nanojel Karakterizasyonu

Sentezlenen nanojellerin karakterizasyonu, Perkin Elmer Spectrum One ATR model (4000-400 cm⁻¹) FTIR Spektroskopi Cihazı, Hitachi STA7300 Termogravimetrik Analiz Cihazı ve Malvern Zetasizer Nano ZS cihazı kullanıldı.

2.4. Şişme Davranışı

Nanojellerin şişme davranışları farklı sıcaklıklar (25, 37, 39 ve 41°C) ve farklı ortamlarda (su ve farklı pH değerlerine sahip tampon çözeltilerinde) incelendi. Şişme kapasitesi **Eşitlik 1** yardımıyla hesaplandı.

$$S = (m_t - m_0) / m_0 \quad (1)$$

Burada;

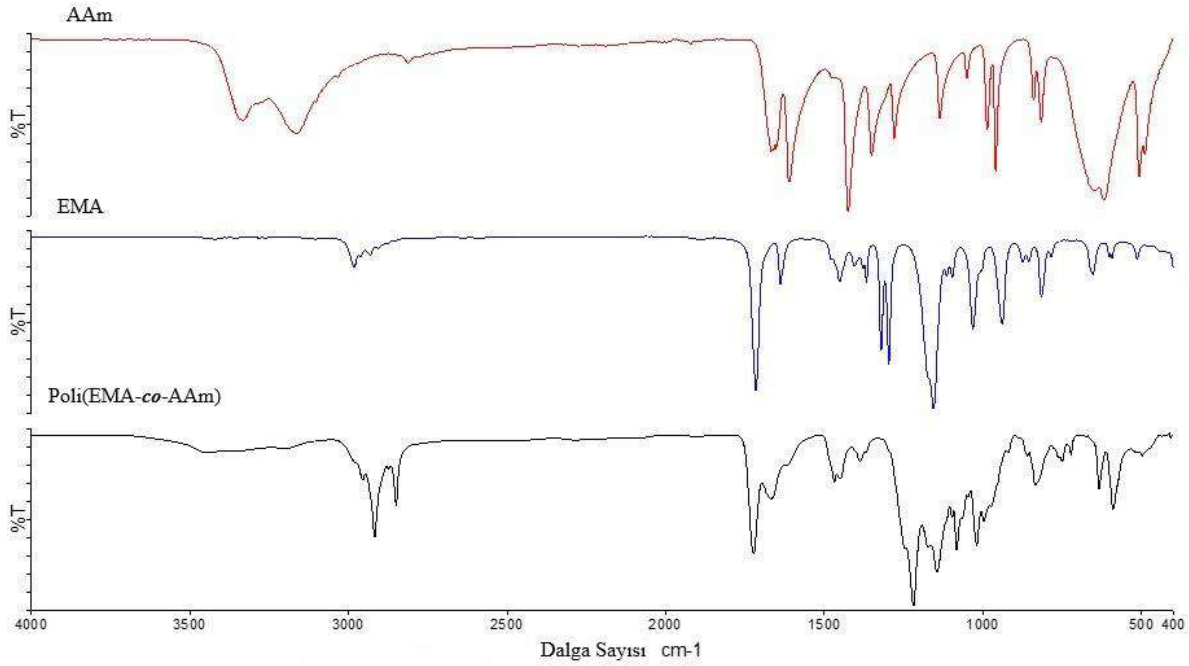
S= Şişme oranı (g Su/g Jel)

m_t: Şişmiş jelin kütlesi (g)

m₀: Jelin kuru haldeki kütlesi (g)

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

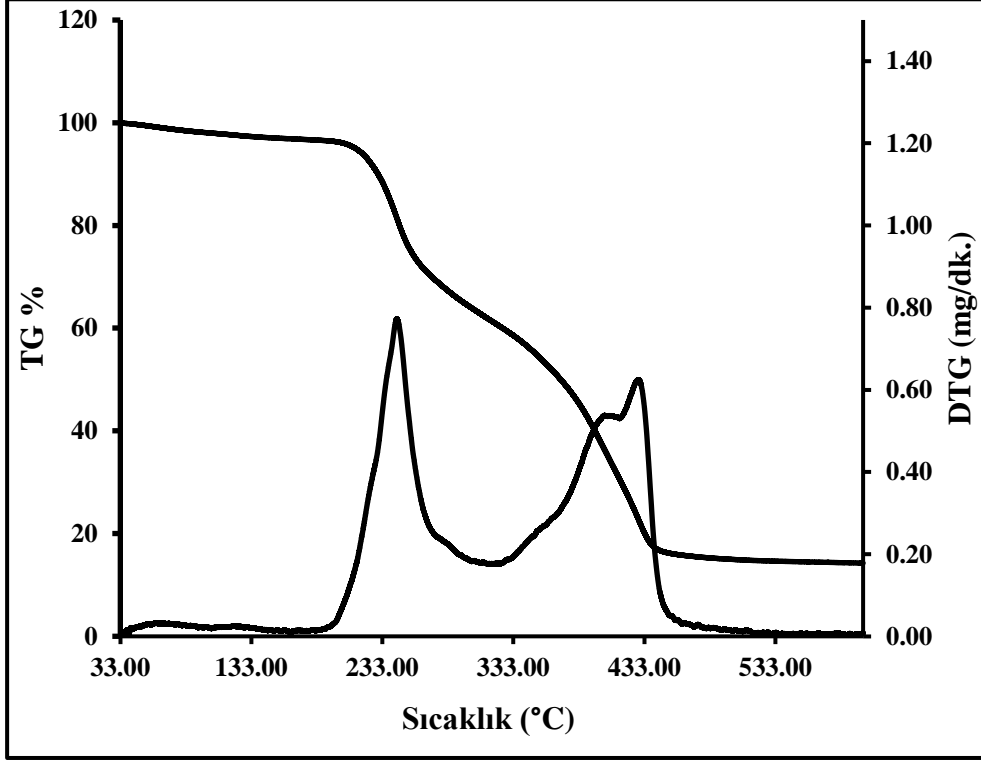
Kimyasal maddelerin yapılarının aydınlatılması konusunda kullanılan spektroskopik yöntemlerden biri FTIR yöntemidir. FTIR yönteminin kullanıldığı başka bir alan ise tepkimelerin ilerleyişi hakkında bilgi edinmektir. Bu çalışmada nanojellerin sentezinde kullanılan monomerlerin (EMA ve AAm) elde edilen nanojel ile karşılaştırmalı spektrumları alınmış ve **Görsel 1**'de verilmiştir.



Görsel 1. Poli(EMA-co-AAm) nanojellerinin monomerleriyle karşılaştırmalı FTIR spektrumları.

Nanojellerin sentezinde kullanılan monomerlerin kimyasal yapılarında C=C bağının olması, polimerleşme tepkimesinin bu bağ üzerinden yürümesi ve nanojellerin yapısında bu bağların olmaması gerektiği bilgisi ile FTIR analizi kullanılarak tepkimenin ilerleyişi hakkında bilgi edinmek mümkündür. Şekil 1 incelendiğinde, monomerlerin yapısında 1625 cm^{-1} civarında gözlenen C=C gerilme bandının nanojelin yapısında olmadığı görülmektedir. Buradan da nanojelin içerisinde monomer kalmadığı yani sentezlenen nanojellerin saf olduğu anlaşılmaktadır. AAm'in yapısında 1670 cm^{-1} 'de ve EMA'nın yapısında 1732 cm^{-1} 'de gözlenen C=O gerilme bandları nanojelin spektrumunda da gözlenmiştir[13]. AAm'in spektrumunda $3200\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ arasında gözlenen N-H gerilme bandı ile EMA'nın spektrumunda $2820\text{-}2990\text{ cm}^{-1}$ arasında gözlenen C-H gerilme bandı nanojelin yapısında da görülmektedir. Buradan çıkışla, her iki monomerin de nanojelin yapısında olduğu açıkça görülmektedir.

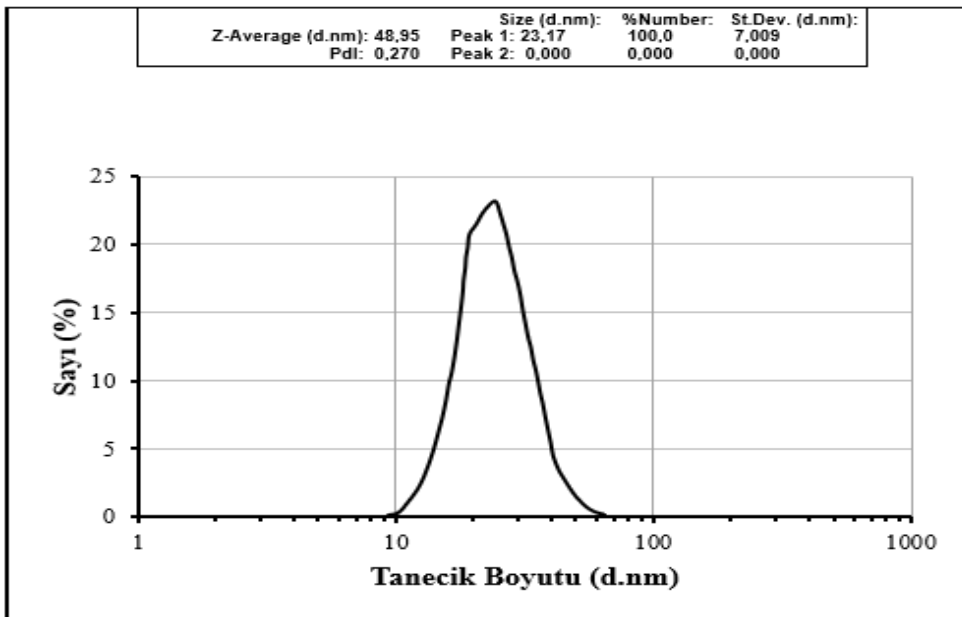
Sentezlenen nanojellerin termal karakterizasyonu için EMA-4 nolu nanojelin azot atmosferinde $10^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$ ısıtma hızıyla $30\text{-}600^{\circ}\text{C}$ aralığında termogramı alınmıştır. Alınan termogram **Görsel 2'**de verilmiştir.



Görsel 2. Poli(EMA-co-AAm) nanojellerinin azot atmosferinde 10°C /dakika ısıtma hızıyla elde edilen TG/DTG termogramı.

Görsel 2 değerlendirildiğinde poli(EMA-co-AAm) nanojellerinin kütlelerinde 200°C'nin altında çok küçük bir azalma olduğu görülmektedir. Bu kütle kaybı, nanojelin içerisinde kalmış olan suya aittir. Nanojelin bozunması ise 200°C civarında başlayıp 515°C civarında tamamlanmaktadır. Bozunmanın, 243, 400 ve 430°C'de maksimum veren 3 farklı basamakta gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

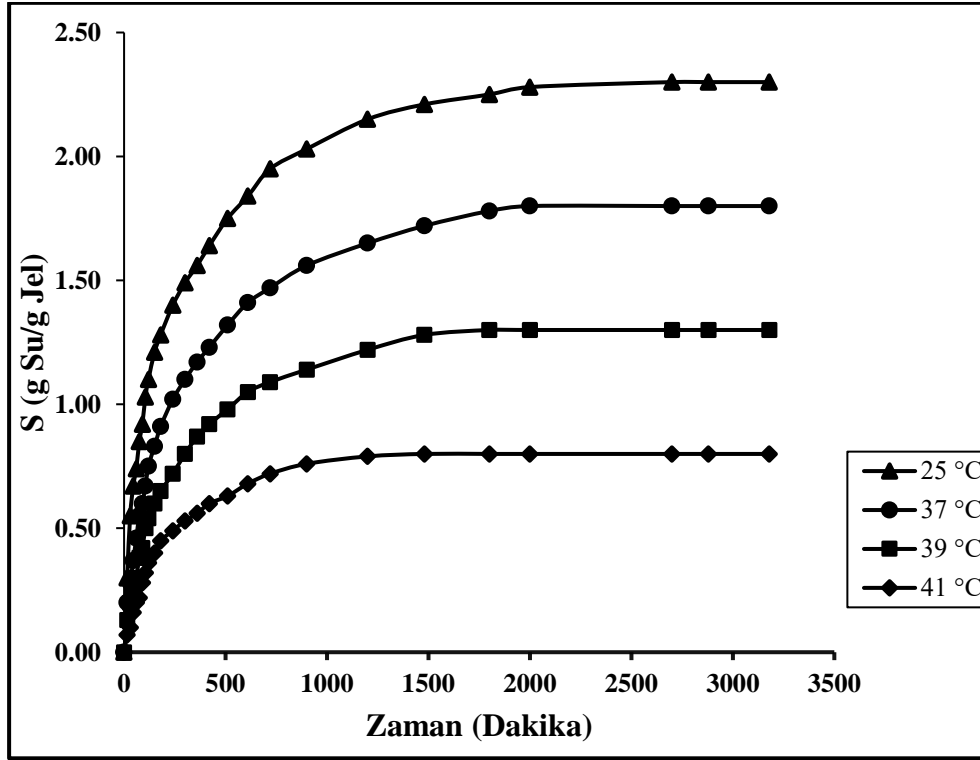
Çalışma kapsamında sentezlenen jellerin tanecik boyutunun belirlenmesi için Zeta-Sizer cihazı ile boyut analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar **Görsel 3**'te verilmiştir.



Görsel 3. Poli(EMA-co-AAm) nanojellerinin tanecik boyutu analizi.

Sentezlenen jellerin nano boyutta olup olmadığının belirlenmesi için EMA-4 nanojelinin Malvern Zetasizer Nano ZS cihazı ile tanecik boyutu analizi gerçekleştirilmiştir. **Görsel 3**'ten de anlaşılacağı üzere, nanojelin 23,17 nm civarında tek bir pik sergilediği, ortalama tanecik boyutunun yaklaşık 49 nm olduğu ve PDI değerinin 0,270 olduğu anlaşılmaktadır.

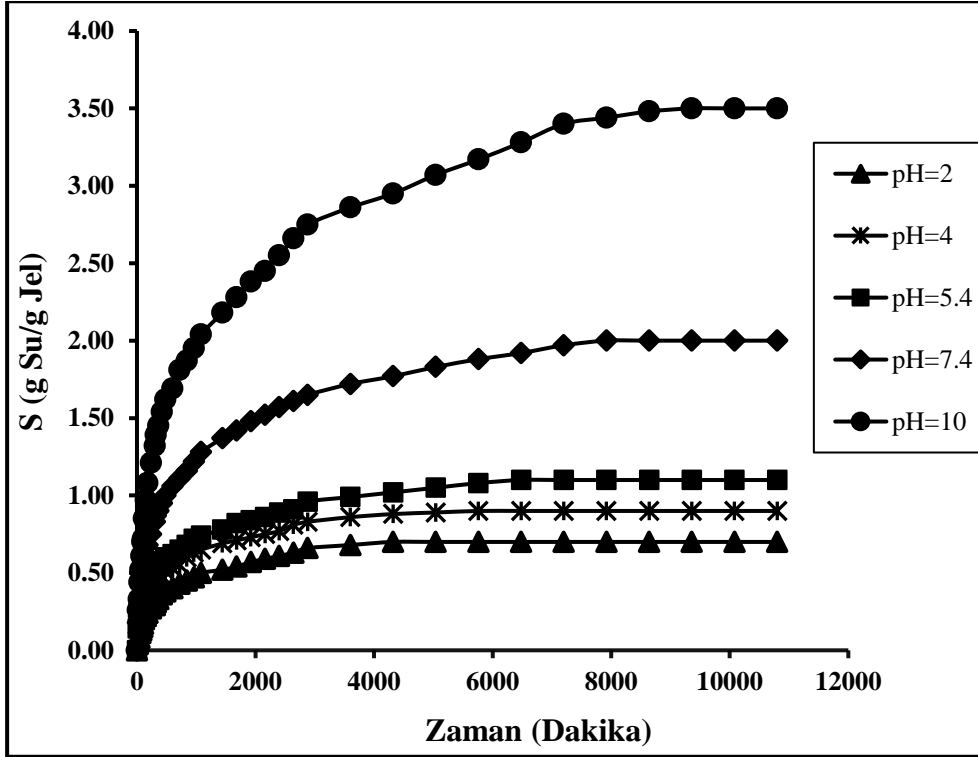
Hidrojellerin en önemli özellikleri suda çözünmeyip kendi ağırlıklarından çok daha fazla miktarda suyu yapılarında tutabilmeleridir[25,26]. Çapraz bağlı polimer olan hidrojel jeller şişme davranışı göstererek suyu yapılarında hapsedebilmektedirler. Bu nedenle hidrojel yapısındaki nanojellerin karakterizasyonunda en önemli parametrelerden biri de şişme davranışlarıdır. Bundan dolayı, sentezlenen nanojellerin öncelikle saf suda farklı sıcaklıklardaki şişme davranışları incelenmiştir. Elde edilen davranışlar benzer olduğundan dolayı örnek teşkil etmesi açısından diğer karakterizasyonlarda kullanılan EMA-4 nanojelinin farklı sıcaklıklardaki şişme davranışları **Görsel 4**'te verilmiştir.



Görsel 4. EMA-4 nolu poli(EMA-co-AAm) nanojelinin saf suda, farklı sıcaklıklardaki şişme davranışları.

Poli(EMA-co-AAm) nanojellerinin şişme kapasitesinin sıcaklıkla ters orantılı olduğu Şekil 4'ten anlaşılmaktadır. 25°C'de 2.30 g su/g jel olan şişme kapasitesi, 37°C'de 1.80, 39°C'de 1.30 ve 41°C'de 0.80 g su/g jel seviyelerine kadar düşmektedir. Bununla beraber, sıcaklık arttıkça şişme hızının arttığı, yani jelin daha kısa sürede dengeye geldiği görülmektedir. Bunun nedeni, sıcaklık arttıkça jelin gevşemesi ve buna bağlı olarak suyun jel içerisine difüzyonunun daha çabuk olmasıdır.

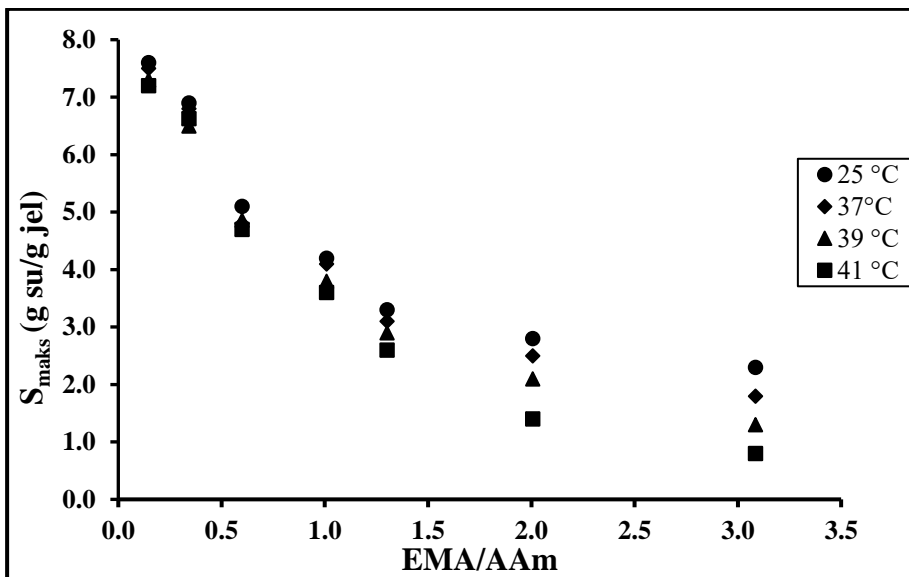
Nanojellerin şişme kapasitesine etki eden parametrelerden biri şişme ortamının pH değeridir[13,26]. Bu nedenle, sentezlenen nanojellerin şişme kapasitesine ortam pH'ının etkisini incelemek amacıyla farklı pH değerlerine sahip tampon çözeltilerindeki şişme davranışları takip edilmiştir. Elde edilen sonuçlar **Görsel 5**'te verilmiştir.



Görsel 5. EMA-4 kodlu nanojelin 25°C’de farklı pH ortamlarındaki şişme davranışı.

Görsel 5’teki şişme eğrileri incelendiğinde nanojelin asidik (pH=2.0, 4.0 ve 5.4) ortamdaki şişme kapasitesi oldukça düşük (0.7–1.1 arasında) çıkarken, bazik ortamda çok daha fazla çıkmıştır. pH=7.4’te 2.0, pH=10’da 3.5 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuç kontrollü ilaç salımında kullanılabilme potansiyelinin olduğunu göstermektedir. Çünkü, ilaç salımında kullanılan nanojellerin pH=5.5’te az, pH=7.4’te fazla şişmesi beklenir.

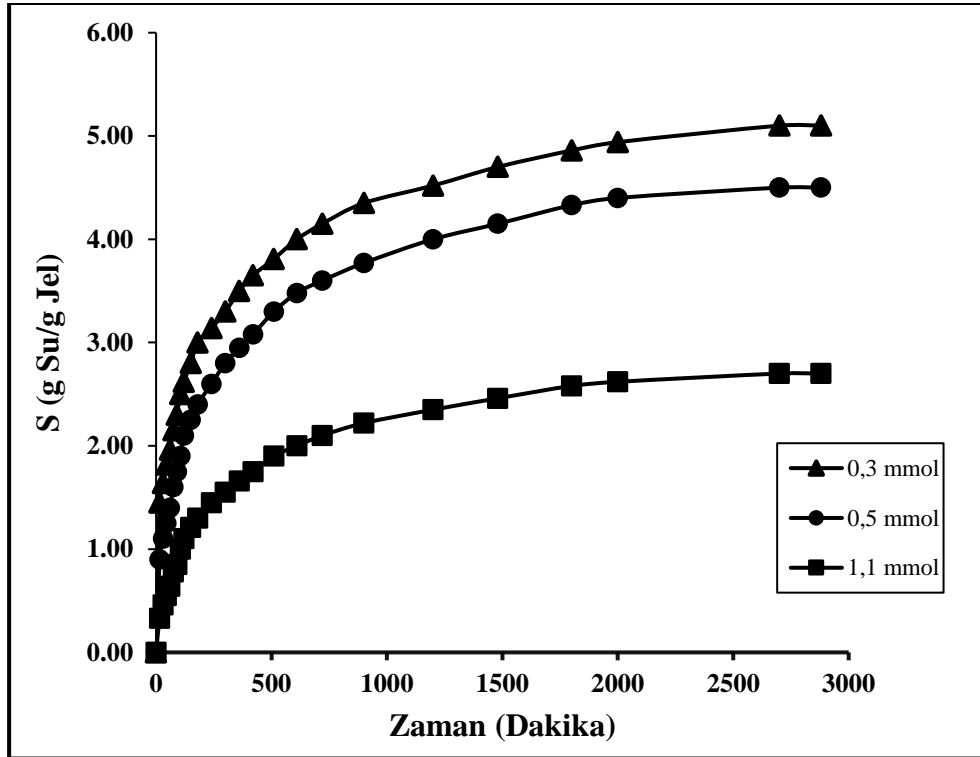
Çalışma kapsamında farklı monomer mol oranıyla (EMA/AAm:0.1–3.1 arasında) poli(EMA-co-AAm) nanojelleri sentezlenmiştir. Bu nanojellerin oda sıcaklığındaki şişme davranışlarından elde edilen şişme kapasitelerinin monomer mol oranıyla değişimi **Görsel 6**’da verilmiştir.



Görsel 6. Farklı monomer mol oranıyla (EMA/AAm) sentezlenen nanojellerin 25°C’de elde edilen şişme kapasitelerinin monomer mol oranıyla değişimi.

Görsel 6’dan da anlaşılacağı üzere, EMA/AAm oranı arttıkça yani, jelin etil metakrilat içeriği artıp akrilamit içeriği azaldıkça şişme kapasitesi azalmaktadır. Bunun nedeni, jelin hidrofilik özelliğinin azalmasıdır.

Hidrojellerin şişme kapasitesine etki eden diğer bir parametre ise jelin çapraz bağ yoğunluğudur[13]. Farklı çapraz bağlayıcı miktarı (0.30, 0.50 ve 1.10 mmol) kullanılarak 3 farklı nanojel sentezlenmiştir. Bu nanojellerin saf suda, 25 °C’deki şişme davranışları takip edilmiş ve elde edilen sonuçlar **Görsel 7’de** verilmiştir.



Görsel 7. Farklı çapraz bağlayıcı miktarı kullanılarak sentezlenen poli(EMA-co-AAm) nanojellerinin şişme davranışları.

Görsel 7’deki eğriler incelendiğinde, kullanılan çapraz bağlayıcı miktarı arttıkça şişme kapasitesinin azaldığı görülmektedir. Çapraz bağlayıcı miktarı 0.3 mmol iken şişme kapasitesi 5.10 g su/g jel çıkmakta, 1.1 mmol kullanıldığında ise 2.7 g su/g jel değerine kadar gerilemektedir. Şişme hızında önemli bir değişim olmamaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı monomer mol oranları ve çapraz bağlayıcı miktarları kullanılarak farklı özellikte 9 adet poli(EMA-co-AAm) nanojeli sentezlenmiştir. Sentezlenen nanojellerin kimyasal yapıları FTIR spektroskopisi yöntemiyle, tanecik boyutları Zeta-Sizer cihazı ve termal davranışları termogravimetrik analiz cihazı ile yapılmıştır. Termal analiz sonuçları, bozunmanın 3 basamakta olduğunu ve yaklaşık 515°C civarında tamamlandığını göstermiştir. Nanojellerin şişme çalışmaları farklı sıcaklıklar ve pH ortamlarında yapılmıştır. Farklı sıcaklıklardaki şişme çalışmaları sıcaklığın artışıyla şişme kapasitesinin azaldığını göstermiştir. Farklı pH ortamlarında yapılan şişme çalışmaları ise nanojellerin asidik ortamda az, bazik ortamda ise

daha fazla şiştiğini göstermiştir. Nanojellerin sentezinde kullanılan monomer mol oranları değiştirildiğinde, jellerin akrilamit içeriği azaldıkça şişme kapasitesinin de azaldığını ortaya koymuştur. Çapraz bağlayıcı miktarı değiştirildiğinde de şişme kapasitesinin değiştiği ve çapraz bağlayıcı miktarı arttıkça şişme kapasitesinin azaldığı belirlenmiştir. Tüm bu sonuçlara dayanarak sentezlenen nanojellerin kontrollü ilaç salımında kullanılma potansiyeli olduğunu ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Correa, S., Grosskopf, A.K., Lopez, H.H., Chan, D., Yu, A.C., Stapleton, L.M., Appel, E.A. Translational Applications of Hydrogels, *Chem Rev.*, 121(18), 2021.
- [2] Dong, L.C., Hoffman, A.S. A novel approach for preparation of pH-sensitive hydrogels for enteric drug delivery, *J. Controlled Release*, 15, 1991.
- [3] Karadag, E., Saraydin, D., Caldiran, Y., Guven, O. Swelling studies of copolymeric acrylamide/crotonic acid hydrogels as carriers for agricultural uses, *Polym. Advance Technol*, 11, 2000.
- [4] C.O. Walker, U.S. Patent 4: 664, 1987.
- [5] Bajpai, S. K., Singh, S. Analysis of swelling behavior of poly(methacrylamide-co-methacrylic acid) hydrogels and effect of synthesis conditions on water uptake, *Reactive and Functional Polymers*, 66(4), 2006.
- [6] Bekiari, V., Sotiropoulou, M., Bokias, G., Lianos, P. Use of poly(N,N-dimethylacrylamide-co-sodium acrylate) hydrogel to extract cationic dyes and metals from water, *Colloids Surf. A*, 312, 2008.
- [7] Yetimoglu, E.K., Kahraman, M.V., Ercan, O., Akdemir, Z.S., Apohan, N.K. N-vinylpyrrolidone/acrylic acid/ 2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid based hydrogels: Synthesis, characterization and their application in the removal of heavy metals, *React. Funct. Polym.*, 67, 2007.
- [8] Kosemund, K., Schlatter, H., Ochsenhirt, J.L., Krause, E.L., Marsman, D.S., Erasala, G.N. Safety evaluation of superabsorbent baby diapers, *Regul Toxicol Pharmacol*, 53(2), 2009.
- [9] Wang, W., Wang, A. Synthesis, swelling behaviors, and slow-release characteristics of a guar gum-g-poly (sodium acrylate)/sodium humate superabsorbent, *J. Appl. Polym. Sci.*, 112, 2009.
- [10] Klouda, L., Thermoresponsive hydrogels in biomedical applications: A seven-year update, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 97, 2015.
- [11] Fundueanu, G., Constantin, M., Asmarandei, I., Bucatariu, S., Harabagiu, V., Ascenzi, P., Simionescu, B.C. Poly(N-isopropylacrylamide-co-hydroxyethylacrylamide) thermosensitive microspheres: the size of microgels dictates the pulsatile release mechanism, *Eur J Pharm Biopharm*, 85(3), 2013.
- [12] Yang, J., Yeom, J., Woo Hwang, B., Hoffman, A.S., Kwang Hahn, S. In situ-forming injectable hydrogels for regenerative medicine, *Prog. Polym. Sci.*, 39, 2014.
- [13] Mazı, H., Sürmelihindi, B. Temperature and pH-sensitive Super absorbent Polymers based on Modified Maleic Anhydride, *Journal of Chemical Sciences*, 133(10), 2021.

- [14] Yan, J., Yu, H., Liu, C., Li, B., Wei, D., He, B., Liu, H., Liang, Y., Sun, Y., Ju, F. Low-temperature photothermal-chemotherapy enhancing tumor immunotherapy by tetrahedral framework nucleic acids nanogels based drug delivery system, *Chem. Eng. J.*, 481, 2020.
- [15] Sun, X., Yang, X., Chen, Y., Sun, J., He, Z., Zhang, S., Luo, C., In situ self-assembled nanomedicines for cancer treatment, *Chem. Eng. J.*, 466, 2023.
- [16] Ashwani, P.V., Gopika, G., Arun Krishna, K.V., Jose, J., John, F., George, J. Stimuli-Responsive and Multifunctional Nanogels in Drug Delivery, *Chem. Biodivers*, 20, 2023.
- [17] Huang, D., Qian, H., Qiao, H., Chen, W., Feijen, J., Zhong, Z. Bioresponsive functional nanogels as an emerging platform for cancer therapy, *Expert Opin Drug Deliv.*, 15(7), 2018.
- [18] Mohammadi, M., Arabi, L., Alibolandi, M. Doxorubicin-loaded composite nanogels for cancer treatment, *J Control Release*, 328, 2020.
- [19] Lee, S., Kim, S., Kim, D., You, J., Kim, J.S., Kim, H., Park, J., Song, J., Choi, I. Spatiotemporally controlled drug delivery via photothermally driven conformational change of self-integrated plasmonic hybrid nanogels, *J. Nanobiotechnol*, 21, 2023.
- [20] Zhong, W., Xiong, Y., Wang, X., Yu, T., Zhou C. Synthesis and characterization of multifunctional organic-inorganic composite hydrogel formed with tissue-adhesive property and inhibiting infection, *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.*, 118, 2021.
- [21] Han, K., Bai, Q., Wu, W., Sun, N., Cui, N., Lu., T. Gelatin-based adhesive hydrogel with self-healing, hemostasis, and electrical conductivity, *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 2021.
- [22] Su, Y., Lv, C., Zhang, Y., Liu, S., Xie, Z., Zheng M. Fluorescent nanoparticles with ultralow chromophore loading for long-term tumor-targeted imaging, *Acta Biomaterialia*, 111, 2020.
- [23] Wu, Z., Chen, Q., Li, C., Zhu, L., Huang, Y., Zhu, X., Zhu, X., Sun, Y. Hydrogel-derived nitrogen-doped porous carbon framework with vanadium nitride decoration for supercapacitors with superior cycling performance, *Journal of Materials Science & Technology*, 155, 2023.
- [24] Moradi, G., Zinadini, S., Rajabi, L., Derakhshan, A.A. Removal of heavy metal ions using a new high performance nanofiltration membrane modified with curcumin boehmite nanoparticles, *Chemical Engineering Journal*, 390, 2020.
- [25] Zhang, D., Tian, S., Liu, Y., Zheng, M., Yang, X., Zou, Y., Shi, B., Luo, L. Near infrared-activatable biomimetic nanogels enabling deep tumor drug penetration inhibit orthotopic glioblastoma, *Nat. Commun.*, 13, 2022.
- [26] Özdemir, Y., Mazi, H. pH and Thermo Sensitive Superabsorbent Poly(N-Hydroxymethylacrylamide-co-Itaconic Acid) Hydrogels. Synthesis, Characterization and Kinetic Studies, *Journal of Macromolecular Science Part A. Pure And Applied Chemistry*, 51(12), 2014.

Poli(Metil Metakrilat-co-Akrilamid) Nanojellerinin Sentezi ve Karakterizasyonu

Orhun HAKKOYMAZ

Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Gaziantep,
ohakkoymaz@gmail.com - 0000-0003-3134-9929

Prof. Dr. Hidayet MAZI

Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Gaziantep,
mazi@gantep.edu.tr- 0000-0001-7609-1824

ÖZET

Bu çalışmada, poli(metil metakrilat-co-akrilamid) (poli(MMA-co-AAm)) nanojellerin sentezi ve karakterizasyonu çalışılmıştır. Kopolimer nanojellerin sentezi emülsiyon polimerizasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Nanojellerin karakterizasyonu şişme deneyleri, FT-IR, termogravimetrik analiz ve Zetasizer yöntemleri ile yapılmıştır. Şişme deneyleri farklı pH'larda (2, 4, 5.4, 7.4, 10) ve farklı sıcaklıklarda (25, 37, 39, 41°C) yapılmıştır. Şişme deneyleri, nanojellerin şişme kapasitesinin sıcaklık arttıkça azaldığını ve pH = 7.4'te pH = 5.4'e göre daha fazla şiştiklerini göstermiştir. FT-IR analizleri, nanojellerin oluştuğunu göstermiştir. Termal analiz (TGA) sonuçları, 185-290 °C sıcaklık aralığında, diğeri ise 330-450 °C sıcaklık aralığında gerçekleşen iki basamakta termal bozunmaya uğradığı ve bozunmanın 500 °C'de bittiğini göstermiştir. Zeta Sizer analiz sonuçları, sentezlenen nanojellerin ortalama olarak 6.4 nm boyutta ve PDI değerinin 0.288 olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın bulguları, sentezlenen poli(MMA-co-AAm) nanojelin kontrollü ilaç salımı için bir ilaç taşıyıcısı olarak kullanılabileceğini ve hipertermi tedavi yönteminde kullanılma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanojel, Akrlamid, Metil Metakrilat.

1. GİRİŞ

Hidrojeller, yapılarında kendi ağırlıklarının binlerce katı suyu tutabilen çapraz bağlı, ağ yapılı polimerlerdir. Suyu tutabilmeleri, yapılarında bulunan $-COOH$, $-OH$, $-NH_2$, $-SO_3H$ gibi fonksiyonel gruplar içeren monomerlerden sentezlenmiş olmalarından kaynaklanmaktadır. Hidrojellerin çocuk bezleri[1], cerrahi pedler[2], hijyenik pedler[3], ilaç salım sistemleri[2,4-6], tarım[7], su engelleyici bantlar[8], doku mühendisliği [9], atık suların arıtılması[10-12], kontakt lensler [13,14], elektrik kabloları[15] gibi birçok uygulaması mevcuttur. Çapraz bağlanmaları, fiziksel veya kimyasal işlemlerle gerçekleştirilebilir. Fiziksel çapraz bağlanmalarda zayıf Van der Waals kuvvetleri söz konusu iken kimyasal çapraz bağlanmalar kovalent bağlarla olmaktadır. Hidrojeller, doğal, sentetik veya her ikisinin kombinasyonu olan maddelerden üretilebilmektedir. Sentetik hidrojeller, daha uzun ömürlü olmaları, yapının işlevselliğine göre özelleştirilebilmeleri, geliştirilmiş mekanik özellikleri, yüksek su tutma kapasiteleri nedeniyle doğal hidrojellere göre daha çok tercih edilmektedir[16].

Hidrojel üretiminde, hem küçük moleküller olmaları hem de yüksek polariteye sahip olmaları nedeniyle en çok kullanılan monomerler akrilik asit ve akrilamittir[15,17]. Akrilamitin saf hidrojelleri, düşük sıcaklıklarda (vücut sıcaklığı civarı ve daha düşük sıcaklıklar) düşük bir şişme kapasitesi sergilemektedirler[18]. Bunun nedeni, akrilamit moleküllerinin kendi aralarında güçlü H-bağları yapmaları ve bundan dolayı suya daha az ilgi duymalarıdır. Yüksek sıcaklıklarda bu problem söz konusu değildir. Çünkü akrilamit molekülleri arasındaki H-bağları zayıflamakta ve bundan dolayı da suya olan ilgi artmaktadır. Düşük sıcaklıklarda yüksek şişme kapasitesine sahip akrilamit bazlı hidrojeller sentezlenmek istendiğinde ikinci monomer olarak akrilatlar gibi hidrofobik karakterde bir monomer tercih edilmektedir[18].

Nanojeller, 100 nm ve daha küçük çaptaki hidrojellerdir. Nanojeller, çapraz bağlar arasındaki küçük gözenekleri sayesinde ilaçları kolayca adsorplayabilmektedirler[19]. Çapraz bağlar arasındaki gözenekler, nanojelleri çevresel etkilerden korumanın yanı sıra taşıdıkları yüklerin fizikokimyasal özelliklerinin geliştirilmesine olanak tanır[20]. Nanojellerin en fazla kullanıldıkları alan kontrollü ilaç salımıdır. Özellikle damardan enjeksiyon yoluyla verilen ilaçlar için nano boyut çok büyük önem arz etmektedir[21].

Bu çalışmada, akrilamitin (AAm) metil metakrilat (MMA) ile kopolimer nanojelleri poli(MMA-co-AAm) sentezlenmiştir. Hidrojel sentezi emülsiyon polimerizasyonu tekniğiyle, başlatıcı olarak amonyum persülfat ve çapraz bağlayıcı olarak etilenglikol dimetakrilat kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nanojellerin karakterizasyonu birçok teknikle çalışılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal Metod

Nanojelin sentezinde kullanılan monomerler (metil metakrilat (MMA), akrilamit (AAm)), çapraz bağlayıcı (etilen glikol dimetakrilat (EGDMA)) ve başlatıcı (amonyum persülfat (APS)) Sigma-Aldrich firmasından temin edildi. Emülsifiye edici ajan olarak kullanılan sodyum dodesil sülfat (SDS) ve sodyum klorür (NaCl) Merck firmasından temin edildi ve herhangi bir saflaştırma işlemi yapılmadan alındığı gibi kullanıldı. Tampon çözeltilerinin hazırlanmasında kullanılan tüm asitler ve bazlar da Sigma-Aldrich firmasından alındı ve alındığı gibi kullanıldı.

2.2. Nanojel Sentezi

Nanojellerin sentezi, farklı monomer mol oranları ve çapraz bağlayıcı konsantrasyonu kullanılarak sentezlendi. Sentezde kullanılan kimyasallar ve miktarları **Çizelge 1**'de verilmiştir.

Çizelge 1. Poli(MMA-co-AAm) nanojellerinin sentezinde kullanılan kimyasallar.

Jelin Kodu	MMA (mmol)	AAm (mmol)	EGDMA (mmol)	MMA/AAm	APS (1%) (mL)
MMA-1	1,9	13,1	0,5	0,15	1.0
MMA-2	5,6	9,3	0,5	0,60	1.0
MMA-3	7,5	7,4	0,5	1,01	1.0
MMA-4	9,4	5,6	0,5	1,68	1.0
MMA-5	11,3	3,7	0,5	3,05	1.0
MMA-6	12,2	2,8	0,5	4,36	1.0
MMA-7	7,5	7,4	0,3	1,01	1.0
MMA-8	7,5	7,4	1,1	1,01	1.0

Nanojellerin sentezi şu şekilde yapılmıştır. 25 mL'lik reaksiyon balonuna 10 mL 0.5 M NaCl_(aq) ve 0.25 g SDS koyuldu. 40°C'deki yağ banyosuna yerleştirilen balon manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. SDS iyice çözüldükten sonra, gerekli miktardaki AAm eklendi ve çözünmesi sağlandı. Daha sonra balona 1 mL %1'lik APS çözeltisi eklendi. Diğer taraftan bir deney tüpüne gerekli olan MMA ve EGDMA miktarları alınıp bir tüpe aktarıldı ve karışmaları sağlandı. Deney tüpündeki akrilat karışımı saniyede bir damla olacak şekilde yavaş yavaş balona damlatıldı. Bu arada yağ banyosunun sıcaklığı 65°C'ye getirildi. Akrilat eklemesi bittikten sonra reaksiyonun tamamlanması için 1 saat daha beklendi. Reaksiyon bittikten sonra balon çıkarılıp soğumaya bırakıldı. Sentezlenen nanojeller süzgeç kağıdıyla süzüldü. Nanojeller, su ile yıkandıktan sonra liyofilizasyon işlemiyle kurutuldu ve karakterizasyonda kullanıldı.

2.3. Nanojel Karakterizasyonu

Sentezlenen nanojellerin karakterizasyonu, Perkin Elmer Spectrum One ATR model (4000-400 cm⁻¹) FTIR Spektroskopi Cihazı, Hitachi STA7300 Termogravimetrik Analiz Cihazı ve Malvern Zetasizer Nano ZS cihazı kullanıldı.

2.4. Şişme Davranışı

Nanojellerin şişme davranışları farklı sıcaklıklar (25, 37, 39 ve 41°C) ve farklı ortamlarda (su ve farklı pH değerlerine sahip tampon çözeltisinde) incelendi. Şişme kapasitesi **Eşitlik 1** yardımıyla hesaplandı.

$$S = (m_t - m_0) / m_0 \quad (1)$$

Burada;

S= Şişme oranı (g Su/g Jel)

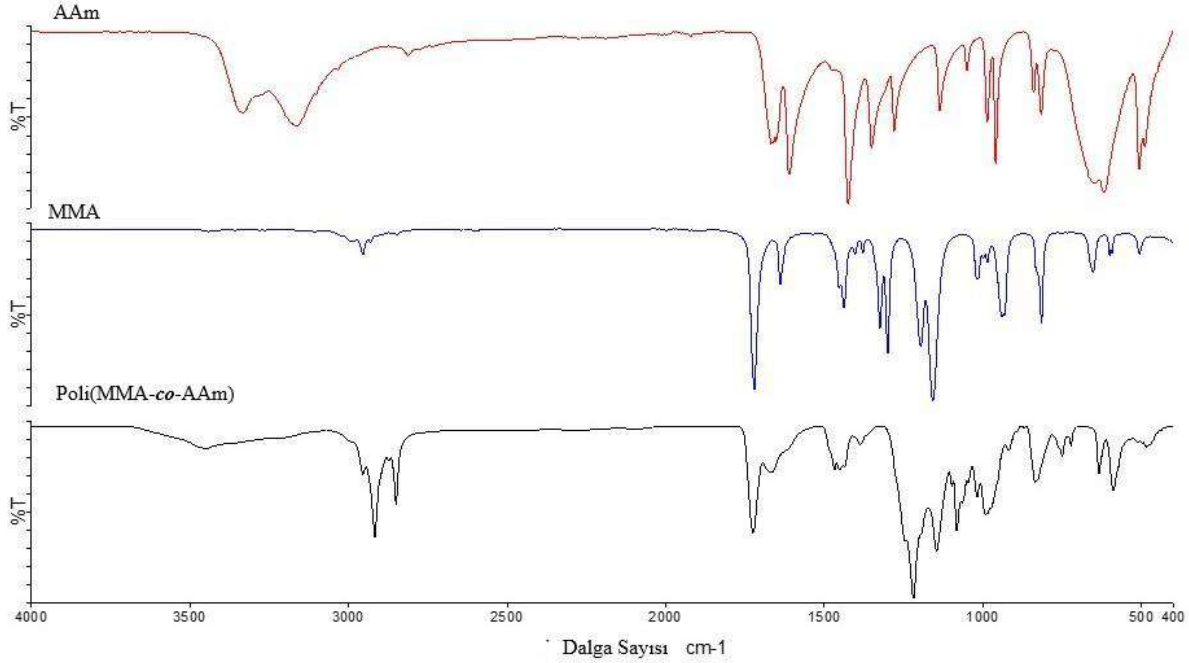
m_t: Şişmiş jelin kütlesi (g)

m₀: Jelin kuru haldeki kütlesi (g)

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Sentezlenen nanojellerin karakterizasyonu için öncelikle sentezlenen polimerin ve sentezde kullanılan monomerlerin 4000-650 cm⁻¹ FTIR spektrumları alındı. Nanojellerin

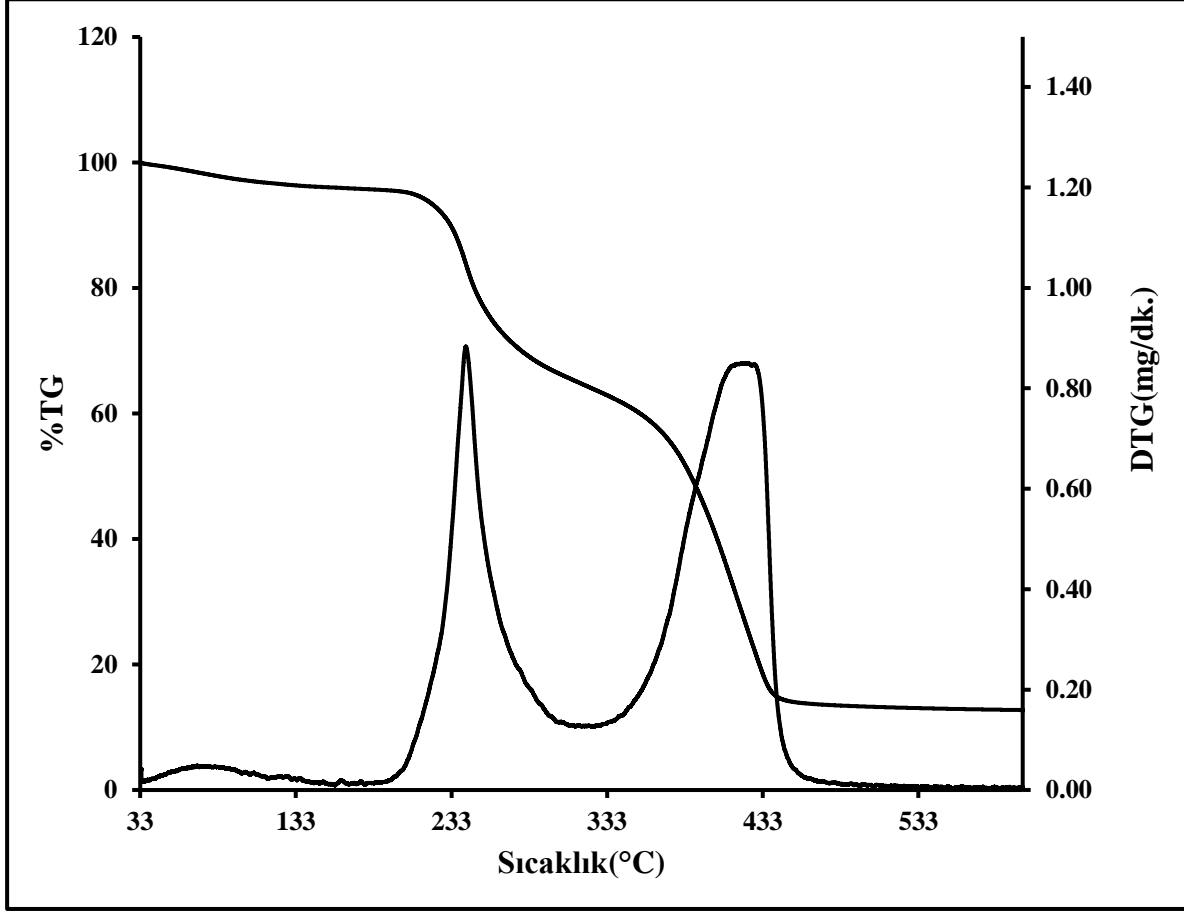
monomerleriyle karşılaştırmalı FTIR spektrumları **Görsel 1**'de verilmiştir.



Görsel 1. Nanojellerin monomerleriyle karşılaştırmalı FTIR spektrumları.

Görsel 1 değerlendirildiğinde, 3500-3200 cm^{-1} aralığında AAm'in spektrumunda görülen N-H gerilme bandının nanojelin (poli(MMA-co-AAm)) yapısında da görüldüğü, 1620 cm^{-1} civarındaki C=C gerilme bandının ise nanojelin spektrumunda gözlenmediği belirlenmiştir [18]. 2900 cm^{-1} civarında her iki monomerin yapısında gözlenen C-H gerilme bandı nanojelin yapısında da görülmüş ve monomerlerin C-H gerilme bandlarının çıkmış olduğu dalga sayılarının arasında çıkmıştır. AAm'in spektrumunda 1670 cm^{-1} 'de ve MMA'nın spektrumunda 1742 cm^{-1} 'de çıkan C=O gerilme bandları nanojelin yapısında da görülmüştür. MMA'nın spektrumunda 1632 cm^{-1} 'de gözlenen C=C gerilme bandı da nanojelde gözlenmemiştir. Bu sonuçlar, nanojelin yapısında her iki monomerin bulunduğunu göstermektedir.

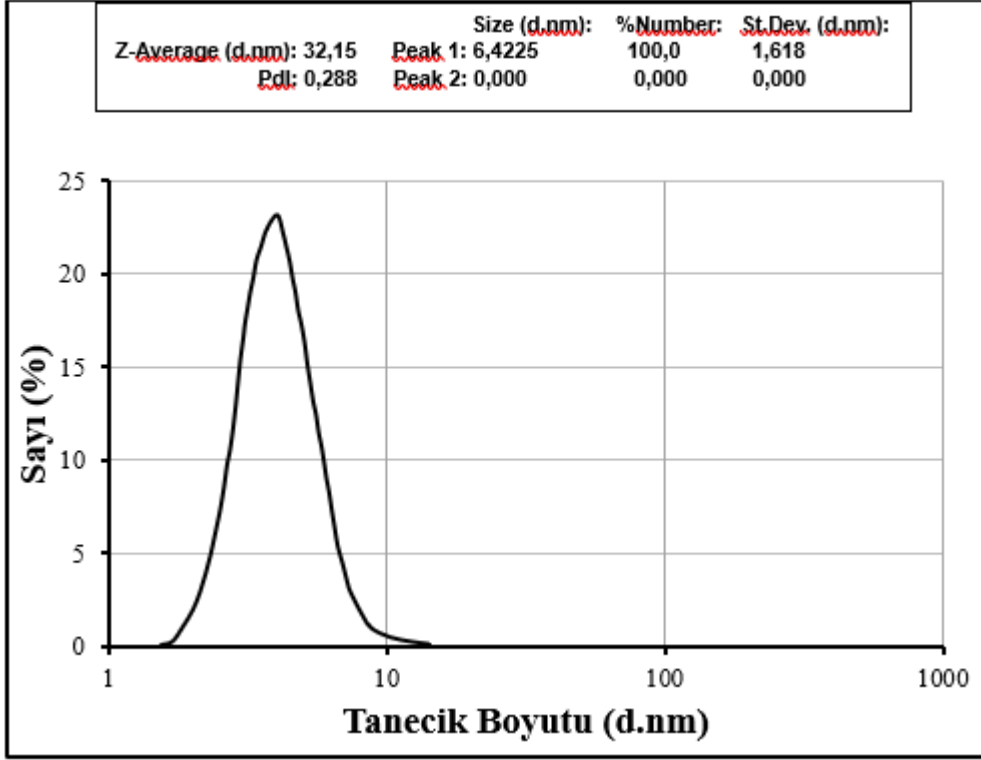
Nanojellerin karakterizasyonunda yapılan diğer bir işlem ise termal karakterizasyondur. Nanojellerin oda sıcaklığından 600°C'ye kadar 10°C/dakika ısıtma hızıyla, azot atmosferinde TG/DTG termogramları alınmıştır. Sonuçlar **Görsel 2**'de verilmiştir.



Görsel 2. Poli(MMA-co-AAm) nanojellerinin 10°C/dakika ısıtma hızıyla, azot atmosferinde alınan TG/DTG termogramları.

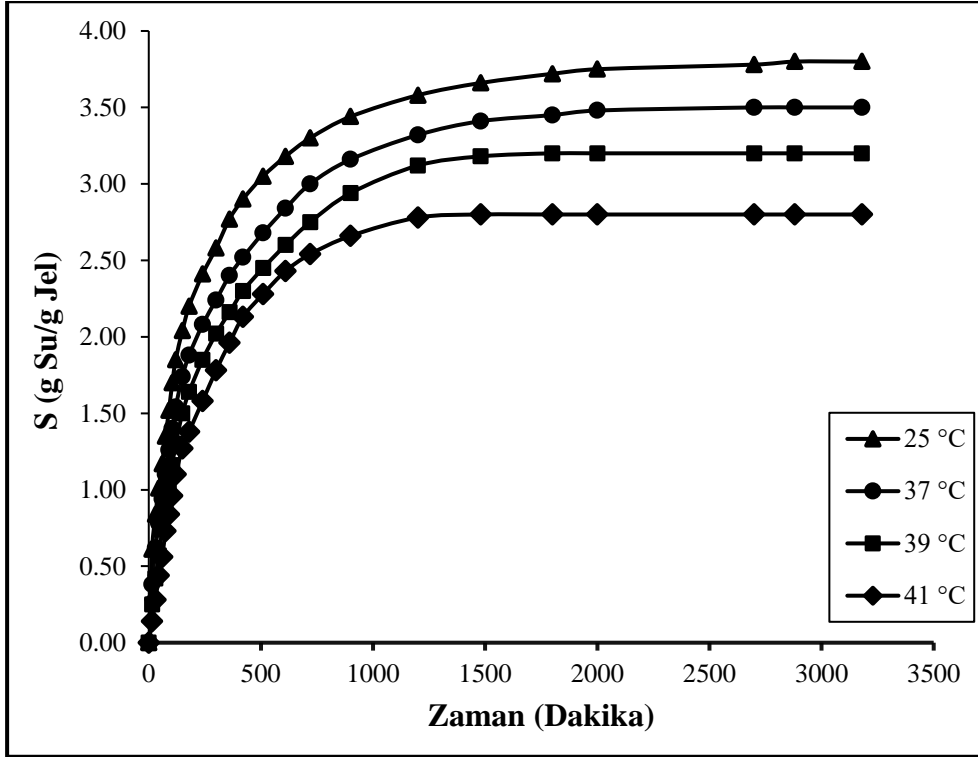
Görsel 2 incelendiğinde, poli(MMA-co-AAm) nanojellerinin 100°C civarında su kaybına uğradığı yani nanojellerin yapısında bir miktar suyun bulunduğu anlaşılmaktadır. Bunun dışında, nanojellerin 245 ve 415°C civarında maksimum veren iki basamakta bozunduğu ve 500°C civarında bozunmanın tamamlandığı anlaşılmaktadır.

Sentezlenen jellerin nano boyutta olup olmadığının belirlenmesi için MMA-3 nanojelinin Malvern Zetasizer Nano ZS cihazı ile tanecik boyutu analizi gerçekleştirilmiştir. **Görsel 3**'ten de anlaşılacağı üzere, nanojelin 6,258 nm civarında tek bir pik sergilediği, ortalama tanecik boyutunun yaklaşık 32 nm olduğu ve PDI değerinin 0,288 olduğu anlaşılmaktadır.

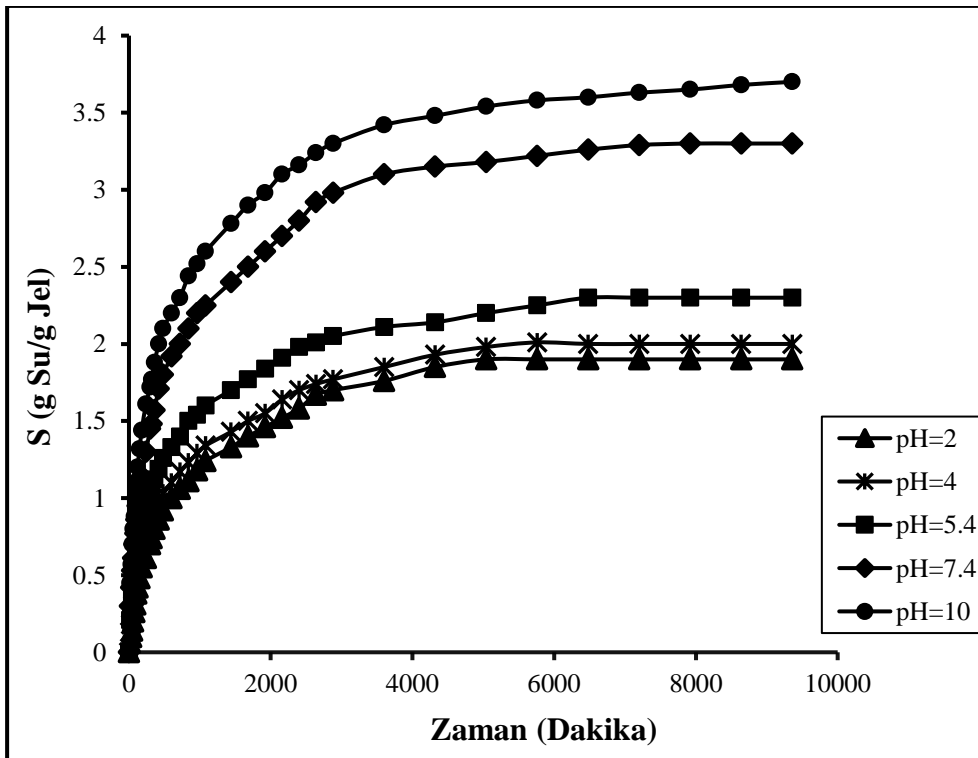


Görsel 3. MMA-3 jelinin tanecik boyutu analizi.

Hidrojelilerin karakterizasyonunda en önemli parametrelerden biri de şişme davranışı ve bu davranışa etki eden faktörlerdir[22]. Çünkü jelin kullanım alanını belirlemede şişme hızı ve kapasitesi önemli rol oynar. Bu çalışmada sentezlenen nanojeller, kontrollü ilaç salımı için tasarlandığından düşük şişme kapasitesine sahip olması, normal kanın pH'ındaki (pH=7.4) şişme kapasitesinin kanser kitlesinin pH'ındaki (pH=5.4) şişme kapasitesine göre daha yüksek olması hedeflenmektedir. Farklı monomer mol oranları ile sentezlenen nanojellerin farklı sıcaklıklardaki (25, 37, 39 ve 41°C) ve farklı pH ortamlarındaki şişme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Örnek teşkil etmesi bakımından MMA/AAm:1,01 olan MMA-3 nanojelinin farklı sıcaklıklar ve pH ortamlarındaki şişme davranışı sırasıyla **Görsel 4** ve **Görsel 5**'te verilmiştir.



Görsel 4. MMA-3 nanojelinin farklı sıcaklıklarda sudaki şişme davranışı.

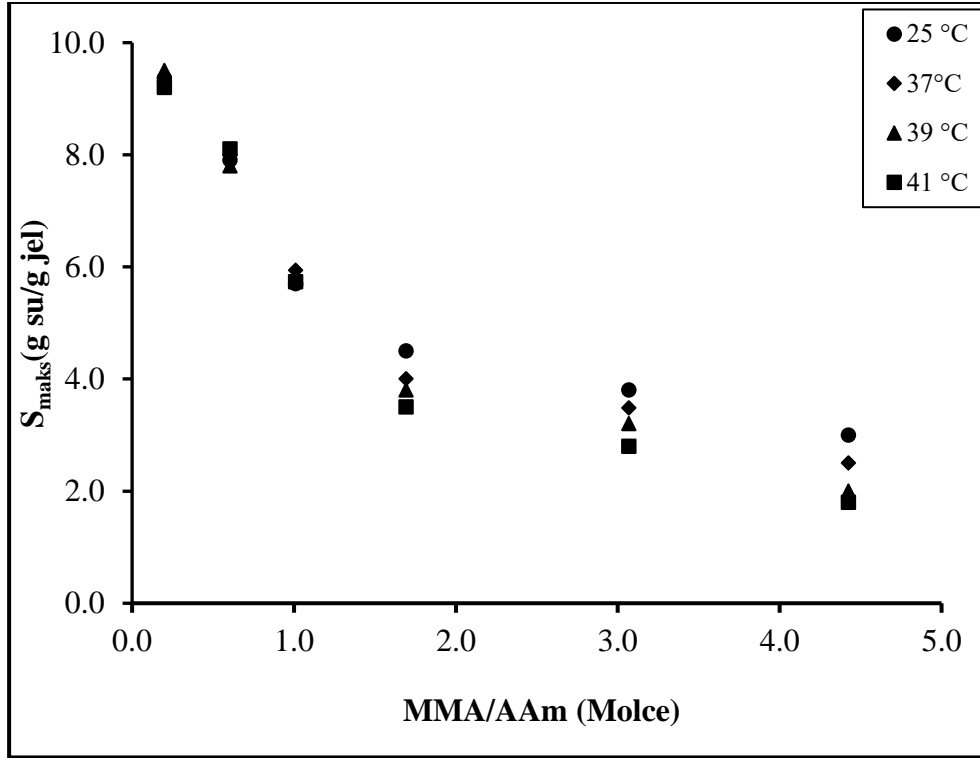


Görsel 5. MMA-3 nanojelinin 25°C'de farklı pH ortamlarındaki şişme davranışı.

Görsel 4 incelendiğinde, nanojelin 25°C'deki şişme kapasitesi 3.80 g su/g jel iken, sıcaklık arttıkça bu değer azalmakta, 39°C'de 3.23 g su/g jel ve 41°C'de 2.80 g su/g jel seviyelerine kadar gerilediği görülmektedir. Kontrollü ilaç salımında kullanılan nanojellerin sıcaklık duyarlı olması büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Görsel 5'ten ise, nanojelin asidik ortamda az şişerken ($S=2.3$) $pH=7.4$ 'te daha fazla ($S=3.3$) ve bazik ortamda en yüksek değerdeki ($S=3.7$) şişme kapasitesine ulaştığı anlaşılmaktadır. Kontrollü ilaç salımı için de bu sonuç dikkate değerdir. Çünkü nanojellerden beklenen, kanser kitlesine ulaştığında suyun ve ilacın bir kısmını serbest bırakmasıdır[23].

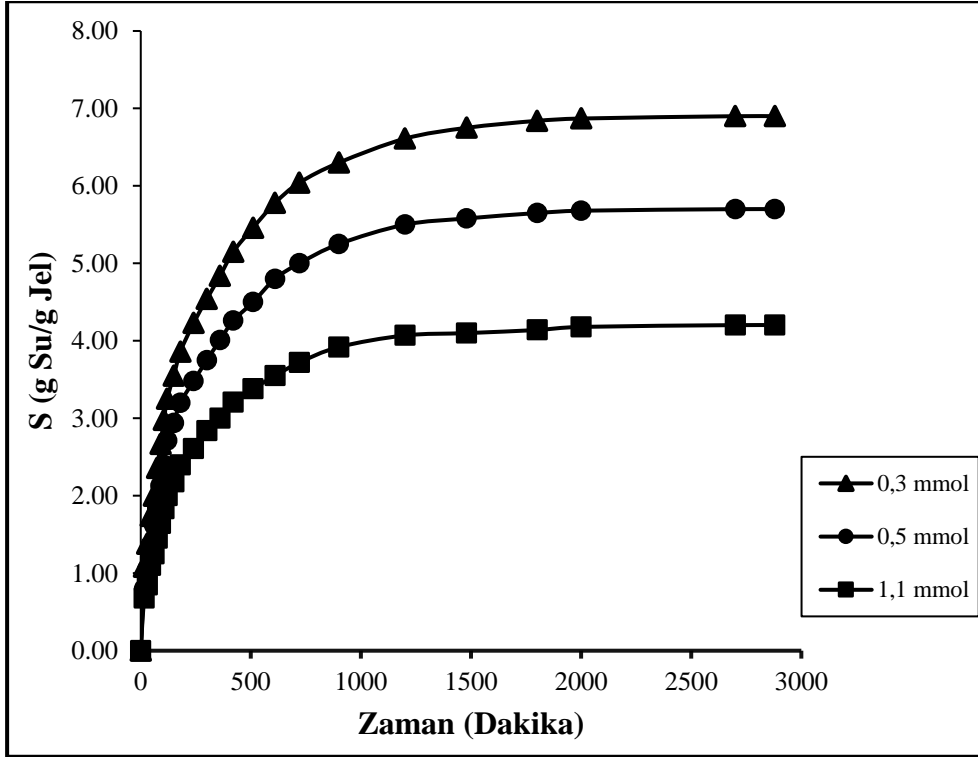
Sentezlenen nanojellerin bileşimi de şişme kapasitesini etkileyebilmektedir. Hidrofilik monomer oranı arttıkça jelin şişme kapasitesinin artması beklenir. Bu çalışmada 6 farklı monomer mol oranıyla (MMA/AAm) sentezlenen nanojellerin 4 farklı sıcaklıkta elde edilen şişme kapasitelerinin monomer mol oranıyla değişimi **Görsel 6**'da verilmiştir.



Görsel 6. Sentezlenen nanojellerin farklı sıcaklıklardaki şişme kapasitelerinin monomer mol oranıyla değişimi.

Nanojellerin şişme kapasitelerinin sıcaklıkla ters orantılı olduğu **Görsel 6**'dan da anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra MMA/AAm oranı arttıkça, yani jelin hidrofobik monomer olan MMA içeriği arttıkça şişme kapasitesinin azaldığı görülmektedir. Çünkü bu durumda hidrofilik monomer olan AAm'in miktarı azalmakta ve nanojelin suya olan ilgisi azalmaktadır. Nanojellerin şişme kapasiteleri MMA/AAm oranı 0.2 iken 9 g su/g jel civarında iken MMA/AAm oranı 4.4'e ulaştığında şişme kapasitesi 2 g su/g jel civarına kadar gerilemektedir.

Sentezlenen nanojellerin şişme kapasitesine etki eden diğer bir parametre ise çapraz bağlayıcı konsantrasyonudur. Bu parametrenin etkisinin incelenmesi amacıyla MMA-3, MMA-7 ve MMA-8 nanojellerinin şişme davranışları karşılaştırmalı olarak **Görsel 7**'de verilmiştir.



Görsel 7. Farklı çapraz bağlayıcı konsantrasyonuyla hazırlanan nanojellerin 25°C’de saf sudaki şişme davranışları.

Görsel 7’de görüldüğü üzere çapraz bağlayıcı miktarı arttıkça nanojellerin şişme kapasitesi azalmaktadır. Kullanılan çapraz bağlayıcı miktarı 0.3 mmol olduğunda şişme kapasitesi 6.90 g su/g jel iken çapraz bağlayıcı miktarı 0.5 mmol olduğunda 5.7 g su/g jel ve 1.1 mmol olduğunda 4.20 g su/g jel değerine kadar düşmüştür. Bunun nedeni, çapraz bağ yoğunluğu arttıkça jelin daha sıkı bir yapıya dönüşmesi, bu sebeple gevşeyememesi ve dolayısıyla da suyun jelin içerisine difüzyonlanememesidir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada poli(MMA-co-AAm) nanojellerinin sentezi gerçekleştirilmiştir. Farklı monomer mol oranlarıyla sentezlenen nanojellerin yapıları FTIR spektroskopisi ile aydınlatılmıştır. Nanojellerin termal davranışları termogravimetrik analiz (TGA) cihazı ile incelenmiş, bozunmanın iki basamakta gerçekleştiği ve 500°C civarında tamamlandığı belirlenmiştir. Nanojellerin tanecik boyutu analizi sonuçları elde edilen nanojellerin nano boyutta olduğunu göstermiştir. Farklı sıcaklıklarda yapılan şişme çalışmaları, sıcaklığın artması ile şişme kapasitesinin azaldığını ortaya koymuştur. Farklı pH ortamlarında yapılan şişme çalışmaları ise nanojellerin asidik ortamda az, bazik ortamda ise daha fazla şiştiğini göstermiştir. Monomer mol oranına bağlı olarak elde edilen şişme davranışı grafikleri nanojellerde AAm miktarı azaldıkça şişme kapasitesinin azaldığını ortaya koymuştur. Son olarak çapraz bağlayıcı miktarının şişme kapasitesine etkisi incelenmiş ve çapraz bağlayıcı miktarı arttıkça şişme kapasitesinin azaldığını göstermiştir. Tüm bu sonuçlara dayanarak sentezlenen nanojellerin kontrollü ilaç salımında kullanılma potansiyeli olduğu anlaşılmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Kosemund, K., Schlatter, H., Ochsenhirt, J.L., Krause, E.L., Marsman, D.S., Erasala, G.N. Safety evaluation of superabsorbent baby diapers, *Regul. Toxic. Pharmac.*, 53, 2009.
- [2] Dong, L.C., Hoffman, A.S. A novel approach for preparation of pH-sensitive hydrogels for enteric drug delivery, *J. Controlled Release*, 15, 1991.
- [3] Bajpai, S.K., Singh, S. Analysis of swelling behavior of poly(methacrylamide-co-methacrylic acid) hydrogels and effect of synthesis conditions on water uptake, *React. Funct. Polym.*, 66, 2006.
- [4] Karadag, E., Saraydin, D., Caldiran, Y., Guven, O. Swelling studies of copolymeric acrylamide/crotonic acid hydrogels as carriers for agricultural uses, *Polym. Advance Technol.*, 11, 2000.
- [5] C.O. Walker, U.S. Patent 4: 664, 1987.
- [6] Paulino, A.T., Guilherme, M.R., Reis, A.V., Campese, G.M., Muniz, E.C., Nozaki, J.J. Removal of methylene blue dye from an aqueous media using superabsorbent hydrogel supported on modified polysaccharide, *J. Colloid Interface Sci.*, 301, 2006.
- [7] Bekiari, V., Sotiropoulou, M., Bokias, G., Lianos, P. Use of poly(N,N-dimethylacrylamide-co-sodium acrylate) hydrogel to extract cationic dyes and metals from water, *Colloids Surf. A*, 312, 2008.
- [8] Yetimoglu, E.K., Kahraman, M.V., Ercan, O., Akdemir, Z.S., Apohan, N.K. N-vinylpyrrolidone/acrylic acid/ 2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid based hydrogels: Synthesis, characterization and their application in the removal of heavy metals, *React. Funct. Polym.*, 67, 2007.
- [9] Wang, W., Wang, A. Synthesis, swelling behaviors, and slow-release characteristics of a guar gum-g-poly (sodium acrylate)/sodium humate superabsorbent, *J. Appl. Polym. Sci.*, 112, 2009.
- [10] Chonkar, A., Nayak, U., Udupa, N. Smart polymers in nasal drug delivery, *Indian J. Pharmaceut. Sci.*, 77(4), 2015.
- [11] Lavik, E., Kuehn, M., Kwon, Y. Novel drug delivery systems for glaucoma, *Eye*, 25(5), 2011.
- [12] Torchilin, V. Targeted polymeric micelles for delivery of poorly soluble drugs, *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, 61(19-20), 2004.
- [13] Svensson, A., Nicklasson, E., Harrah, T., Panilaitis, B., Kaplan, D.L., Brittberg, M., Gatenholm, P. Bacterial cellulose as a potential scaffold for tissue engineering of cartilage, *Biomaterials*, 26(4), 2005.
- [14] Alvarez-Rivera, F., Concheiro, A., Alvarez-Lorenzo, C. Epalrestat-loaded silicone hydrogels as contact lenses to address diabetic-eye complications, *Eur. J. Pharm. Biopharm.*, 122, 2018.

- [15] Childs, A., Li, H., Lewittes, DM., Dong, B., Liu, W., Shu, X., Sun, C., Zhang, HF. Fabricating customized hydrogel contact lens, *Sci. Rep.*, 6(1), 2016.
- [16] Pathak, A.K., Singh, V.K. A wide range and highly sensitive optical fiber pH sensor using polyacrylamide hydrogel, *Opt. Fiber Technol.*, 39, 2017.
- [17] Tomar, R.S., Gupta, I., Singhal, R., Nagpal, A. Synthesis of poly (acrylamide-coacrylic acid) based superabsorbent hydrogels: study of network parameters and swelling behaviour, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, 46(5), 2007.
- [18] Mazı, H., Sürmelihindi, B. Temperature and pH-sensitive Super absorbent Polymers based on Modified Maleic Anhydride, *Journal of Chemical Sciences*, 133(10), 2021.
- [19] Sivakumaran, D., Maitland, D., Oszustowicz, T., Hoare, T. Tuning drug release from smart microgel–hydrogel composites via cross-linking, *J. Colloid Interface Sci.*, 392, 2013.
- [20] Duan, QY., Zhu, YX., Jia, HR., Wang, SH., Wu, FG. Nanogels: Synthesis, properties, and recent biomedical applications, *Prog. Mater Sci.*, 139, 2023.
- [21] Neamtu, I., Rusu, A.G., Diaconu, A., Nita, L.E., Chiriac, A.P. Basic concepts and recent advances in nanogels as carriers for medical applications, *Drug Deliv.*, 24(1), 2017.
- [22] Özdemir, Y., Mazı, H. pH and Thermo Sensitive Superabsorbent Poly(N-Hydroxymethylacrylamide-co-Itaconic Acid) Hydrogels. Synthesis, Characterization and Kinetic Studies, *Journal of Macromolecular Science Part A. Pure And Applied Chemistry*, 51(12), 2014.
- [23] Shirvalilou, S., Khoei, S., Khoei, S., Soleymani, M., Shirvaliloo, M., Ali, B. H., Mahabadi, V. P. Dual-drug delivery by thermo-responsive Janus nanogel for improved cellular uptake, sustained release, and combination chemo-thermal therapy, *International Journal of Pharmaceutics*, 653, 2024.

THE ROLE OF ACTIVATED CARBON ON REMOVAL OF ANTIBIOTIC

Pelin Demircivi¹

¹Yalova University, Engineering Faculty, Chemical Engineering Department, Yalova, Turkiye.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1068-9310>

¹pelin.demircivi@yalova.edu.tr, 05433103347

Şeyda Karadirek²

²Yalova University, Engineering Faculty, Chemical Engineering Department, Yalova, Turkiye.

²ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1641-4155>

²ozlem.tuna@yalova.edu.tr, 05306491079

Nergiz Kanmaz³

³Yalova University, Engineering Faculty, Chemical Engineering Department, Yalova, Turkiye.

³ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5598-4911>

³nzeynep.kanmaz@yalova.edu.tr, 05076186135

ABSTRACT

Activated carbon is the material most commonly used for removal of various pollutants from wastewater via adsorption process. Activated carbon, sometimes known as activated charcoal, is a type of carbon that is frequently used, to filter impurities out of water and air. It is activated to produce low-volume pores, which significantly expand the surface area that is available for chemical reactions or adsorption. These pores can be compared to microscopic "sponge" structures. Due to the functional groups on activated carbon surface, it is one of the most useful adsorbent for water treatment. Ampicillin is an antibiotic that is a member of the penicillin family's aminopenicillin class. The medication is used to treat and prevent bacterial infections of the respiratory, urinary and other systems. It can be taken orally, intravenously, or via injection into a muscle. Reactions like diarrhea, nausea, and rash are typical side effects. Those who are allergic to penicillin shouldn't take it due to side effects. Because of wide range of use, removal of ampicillin from water is an important problem. In this study, ampicillin removal was studied with activated carbon adsorbent. As a result of isotherm experiments, maximum adsorption capacity was achieved as 153.75 mg g⁻¹. Adsorption efficiency was reached 96%. Due to ionization species in water of ampicillin, maximum adsorption was observed in acidic pH levels in water medium. According to the results, activated carbon can be used as a useful adsorbent for ampicillin type antibiotics.

Keywords: Ampicillin, activated carbon, adsorption, water treatment

Introduction

The removal of pharmaceutical contaminants from aqueous environments has become a critical environmental concern due to the widespread use of antibiotics and the subsequent release of their residues into natural water bodies [1]. Among various pharmaceuticals, ampicillin—a broad-spectrum antibiotic commonly used to treat bacterial infections—has been frequently detected in surface waters, groundwater, and wastewater.

Activated carbon (AC) has long been recognized as an effective adsorbent for a wide range of organic and inorganic contaminants due to its high surface area, porosity, and chemical stability. The use of activated carbon for the removal of pharmaceutical contaminants has been extensively investigated due to its adsorptive properties. Adsorption processes on activated carbon are typically influenced by factors such as surface charge, pore structure, and the interaction between adsorbate molecules and the adsorbent surface [1-3].

This study focuses on the adsorption of ampicillin onto activated carbon, exploring the fundamental mechanisms involved, as well as the influence of various operational conditions, such as pH, conduction time, and AC amount. By enhancing the knowledge of the adsorption behavior of ampicillin, this work aims to support the design of sustainable solutions to mitigate the impact of pharmaceutical contaminants on aquatic ecosystems and human health.

Materials and Methods

Ampicillin was supplied from Merck and commercial activated carbon was used in the experiments. Hydrochloric acid (HCl, 37%) and sodium hydroxide (NaOH) were received from Emsure.

Batch adsorption experiments were conducted 20 mL 500 mg L⁻¹ ampicillin with various AC amounts (0.5-0.004 g) for 24 h. The determined AC amount was used for conduction time experiments and solution pH. The solution pH was adjusted with 0.1 M HCl and 0.1 M NaOH solutions. Ampicillin solution concentration were measured by UV-Vis spectrophotometer at 240 nm.

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \times V}{m}$$
$$\text{Adsorption \%} = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100$$

where q_e , C_0 , C_e , V and m are adsorption capacity at equilibrium (mg g^{-1}), initial ampicillin concentration, ampicillin concentration in equilibrium (mg L^{-1}), the volume of ampicillin solution (L) and the adsorbent mass (g), respectively.

Results and Discussion

Figure 1 indicates the effect of AC amount on ampicillin adsorption. The increase in AC amount resulted with higher adsorption of ampicillin on the AC surface. Adsorption efficiency was increased from 10% to 100% as the adsorbent amount was reached to 0.4 g. After that point adsorption efficiency did not show any significant change. This was due to all the active adsorption sites on AC surface was filled with ampicillin and no empty space was released.

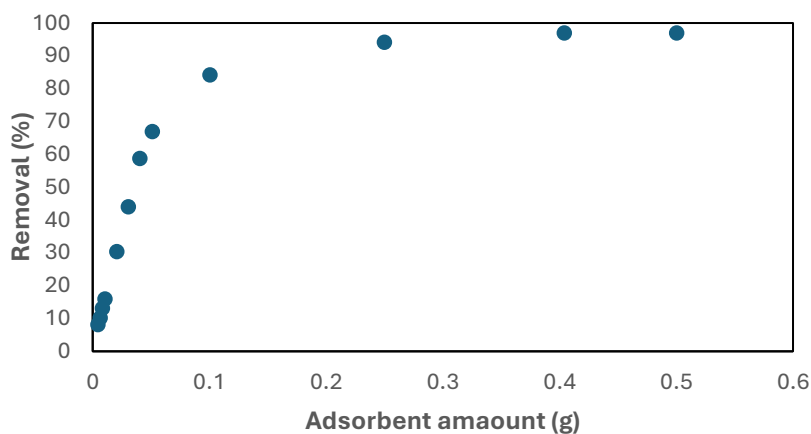


Figure 1. Effect of AC amount on ampicillin adsorption

Conducted time experiments were exhibited at different time intervals and the results were given in Figure 2. Ampicillin adsorption reached the equilibrium in 240 min. AC adsorption capacity was achieved 84.42 mg g^{-1} . At the end of this period, the existing active sites on the composite surface were completely covered by the ampicillin adsorbate and reached equilibrium.

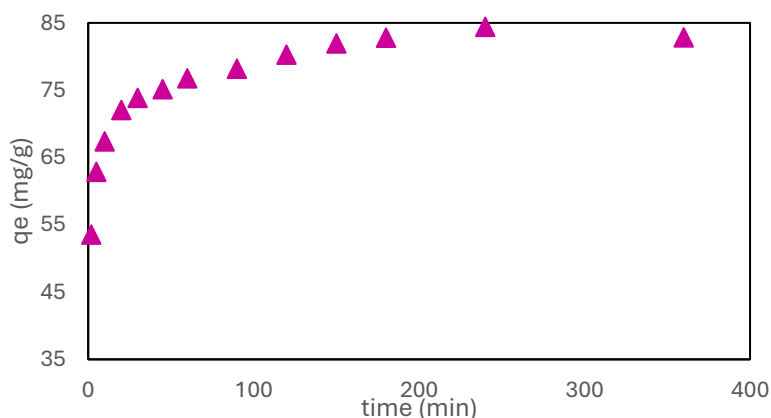


Figure 2. Adsorption time effect on ampicillin adsorption

Solution pH is an important parameter for the adsorption process due to changing both adsorbent and adsorbate species. Solution pH was changed from pH 2 to pH 11 and the results were given in Figure 3. It was clearly seen that ampicillin adsorption was higher at acidic pH conditions (90 mg g^{-1}) due to electrostatic interactions between negatively charge ampicillin and AC surface. At pH 11 the adsorption capacity of AC was decreased to 78.39 mg g^{-1} . Functional groups on AC plays an important role on ampicillin adsorption.

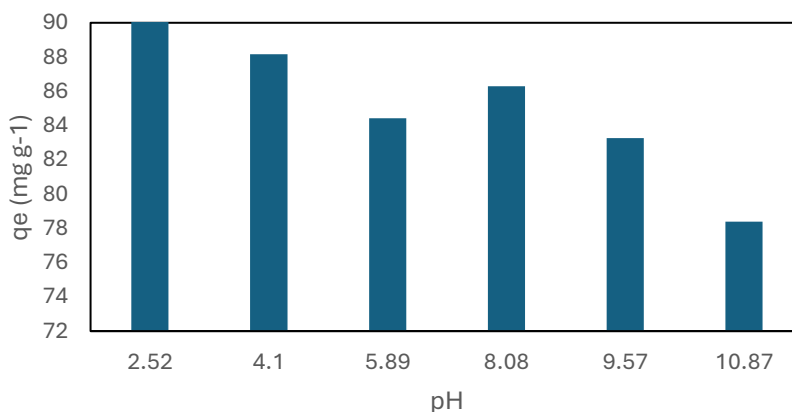


Figure 3. Solution pH effect on ampicillin adsorption

Adsorption isotherm of ampicillin adsorption on AC was given in Figure 4. As seen from the Figure 4, adsorption capacity of AC for ampicillin adsorption was found as 466.26 mg g^{-1} . The experimental parameters were used to understand the adsorption mechanism of the process. Therefore, Langmuir and Freundlich adsorption model parameters were calculated and the results were given in Table 1. Comparison of R^2 parameters, Langmuir isotherm model was best fitted model for ampicillin adsorption, which indicates that monolayer ampicillin adsorption occurred on AC surface.

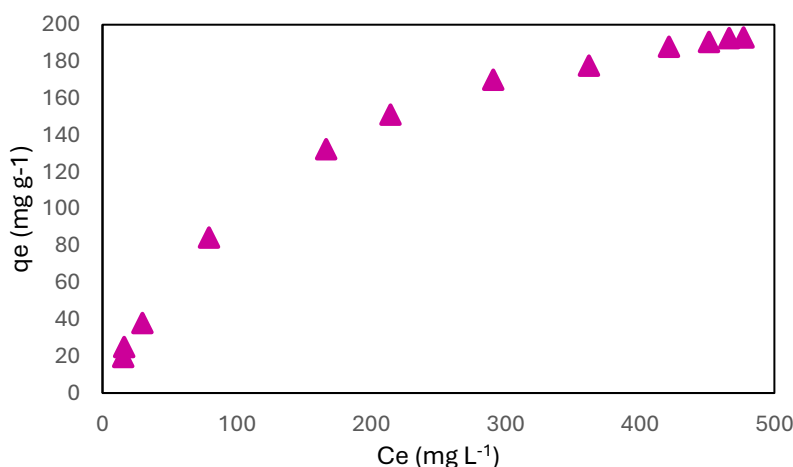


Figure 4. Equilibrium isotherm of ampicillin adsorption

Conclusion

Ampicillin adsorption on activated carbon was investigated using batch adsorption experiments. Maximum adsorption capacity was found as 466 mg g^{-1} according to Langmuir model, which indicated that monolayer adsorption occurred on AC surface. The pH experiments showed that electrostatic attractions were important for ampicillin adsorption. Besides, surface functional groups exhibited an important role on ampicillin adsorption in basic conditions. The results showed that AC is a good candidate adsorbent for ampicillin adsorption with high adsorption capacity and could be used for removal of several type antibiotics from wastewater.

References

- [1] Ahmad, M. A., & Hameed, B. H. (2010). "The preparation of activated carbon from palm shell and its evaluation for adsorption of phenolic compounds from aqueous solutions." *Journal of Hazardous Materials*, 173(1-3), 18-25.
- [2] Cegłowski, M., & Sroka-Bartnicka, A. (2018). "Adsorption of antibiotics from aqueous solutions onto activated carbon: A review." *Science of the Total Environment*, 627, 1027-1041.
- [3] Fang, M., Guo, M., & Liu, D. (2019). "Adsorption behavior of antibiotics onto activated carbon: A review." *Environmental Pollution*, 250, 778-790.

Determination Of Antioxi Dant Activity Of *Hypericum Perforatum* (L.) Collected From The Plateaus Of Rize

¹ *Dr. Öğretim Üyesi EMİNE YURTERİ^{1*}*

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3770-2714>

^{1*} emine.yurteri@erdogan.edu.tr

² *Arş. Gör. Dr. Aysel ÖZCAN AYKUTLU³*

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-0401-2071>

² aysel.ozcan@erdogan.edu.tr

Prof. Dr. Fatih SEYİS³

³ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9714-370X>

³ fatih.sevis@erdogan.edu.tr

ABSTRACT

Hypericum perforatum (L.) (St. John's wort) is a plant known for its powerful antioxidant properties. Studies have shown that the extract of the plant contains significant amounts of phenolic compounds, flavonoids and naphthodianthrones, and that these compounds contribute to strong antioxidant activity. The plant material of our study was the studied *Hypericum perforatum* L. plant from different plateaus of Rize. The dried herb of the *Hypericum* plant was extracted using 70% methanol. Total phenols contained in the extracts were calculated as gallic acid equivalent (GAE) using the Folin-Ciocalteu method. In the findings obtained, plant samples collected from different plateaus; According to The antioxidant activity values differed based FRAP analysis. FRAP values were highest in Anzer (1586m= 5080.17 μ M TE/g dw) and in Cimil (2068 m =6375.89 μ M TE/g dw) and the total phenol content was determined as (69.98mg- 139.30mg) GAE/g.

Keywords: Total phenol, antioxidant activity, *Hypericum*

1. INTRODUCTION

Hypericum perforatum has been used medicinally since ancient Greece. Historically, *H. perforatum* was used by doctors for diuretics, wound healing, menstrual diseases, and intestinal worms (Redvers et al., 2001; Klemow et al., 2011). *H. perforatum* is valued for its antidepressant and wound healing effects (Miller, 1998; Chrea et al., 2014), making it

increasingly popular. *H. perforatum* has been used to treat cancer, diabetes, chronic rheumatism, gastrointestinal diseases, jaundice, bronchitis, diarrhoea, dysentery, sore throat infections, colds, worm lowering, antiseptic (Duke, 1990), and burn wounds (Baytop, 1999). Preliminous research pointed out that this species contains components displaying antioxidant properties (Altun et al., 2013; Demirkiran et al., 2013; Zheleva-Dimitrova et al., 2013; Ozkan et al., 2018).

2. EXPERIMENTAL RESEARCH (or METHODS)

2.1. Sampling of experimental materials

H. perforatum samples were collected from the natural flora of the plateaus of Anzer and Cimil highlands in Rize during their development periods between April and July 2020. location information regarding the sampling points are given in Chart 1.

Chart 1. Collection information about collected samples

Collection site of investigated samples	Altitude
Anzer	391
	631
	1318
	1536
	1733
Cimil	1311
	1447
	1968
	2068
	2169

Analyzed samples were collected from different altitudes of the Anzer and Cimil Plateaus of Rize. After drying at room temperature (20 ± 2 °C), the total phenolic content and antioxidant activity efficiency were analyzed for each plant material.



Image 1: My view on the appearance of the *Hypericum perforatum* (L.) plant (a) and its use in traditional folk medicine (b)

2.2. Extraction for Total Phenolic Content and Antioxidant Activity Analysis

The international ISO 14502-1:2005 method was used in the extraction process carried out for the determination of antioxidant activity and total phenolic content. 0.1 g (± 0.001 g precision) of plant samples prepared for analysis were weighed into centrifuge tubes and 10 ml of 80% methanol solvent was added. The prepared solution was stirred in an ultrasonic water bath at 50 °C for 20 min and then kept in the dark for 1 hour. In the final stage, the extracts were centrifuged at 4000 rpm for 20 min, and the supernatants (clear liquid) remaining at the top were passed through a membrane filter and placed in Eppendorf tubes.

2.3. Determination of Total Phenol Content

Total phenolic content was determined according to the Folin-Ciocalteu method described by Waterhouse (2002). Distilled water (1.58 mL) and 0.2 N Folin-Ciocalteu reagent (0.1 mL) were added to the plant extracts (0.02 mL), respectively, and mixed. Then, 0.3 mL of sodium carbonate (Na_2CO_3) solution (75 g/L) was added and the tubes were kept on a magnetic shaker (15 min at 50 °C). Distilled water was added to the reference tubes instead of plant extract. Absorbance readings (at 765 nm wavelength) were measured with a Shimadzu brand UV-1800 model spectrophotometer device, and gallic acid calibration curve was created and calculations were made. Total phenolic content was expressed as mg gallic acid/g (mg GAE/g) dry weight.

2.4. Determination of Antioxidant Activity by FRAP (Iron Reducing Antioxidant Capacity) Method

Antioxidant activity was determined using the FRAP method developed by Benzie and Strain (1996). In the preparation of the FRAP solution, 25 ml of 0.3 M acetate buffer, 2.5 ml of TPTZ solution (HCl was used as solvent) and 2.5 ml of 20 mM $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ solution were used. 20 μl of extract and 1.98 ml of FRAP solution (with stirring at 37°C for 3 min) were added to the analysis tubes. Distilled water was added to the reference samples. Absorbance values were

determined at 593 nm wavelength using Shimadzu brand UV-1800 spectrophotometer. A standard curve was created using FeSO₄.7H₂O at different concentrations (25, 50, 75 and 100 ppm) and the iron reducing capacity was expressed as μM FeSO₄/g.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The obtained total phenolic content values (TP) and antioxidant values (DPPH and FRAP) of investigated *H. perforatum* samples are given in Chart 2.

The highest phenolic content (139.30 mg GAE/gr) was obtained at the altitude of 631 m in Anzer, whereas in Cimil the corresponding value was 184.76 mg GAE/gr at a altitude of 2068 (Chart 2., Image 2.). The antioxidant activity values differed based FRAP analysis. FRAP values were highest in Anzer 1586 as 5080.17 μM TE/g dw and in Cimil at 2068 m 6375.89 μM TE/g dw (Chart 2. ,Image 3.).

Chart 2: Total phenolic content, DPPH, radical scavenging and FRAP-activities of studied *Hypericum perforatum* samples

Sample	TP mg GAE/gr	FRAP μM TE/g dw
Anzer 391 m	114,89 ± 0,0072	4683,08 ± 0,0148
Anzer 631 m	139,30 ± 0,0041	4901,48 ± 0,0316
Anzer 1318 m	112,55 ± 0,0051	2631,15 ± 0,0151
Anzer 1586 m	99,07 ± 0,0041	5080,17 ± 0,0520
Anzer 1733 m	69,98 ± 0,0025	3696,39 ± 0,0615
Cimil 1311 m	103,19 ± 0,0035	5282,17 ± 0,0196
Cimil 1447 a	138,85 ± 0,0094	4544,10 ± 0,0396
Cimil 1968 m	96,28 ± 0,0026	2606,98 ± 0,0117
Cimil 2068 m	184,76 ± 0,0110	6375,89 ± 0,0546
Cimil 2169 m	129,04 ± 0,0060	4084,85 ± 0,0329

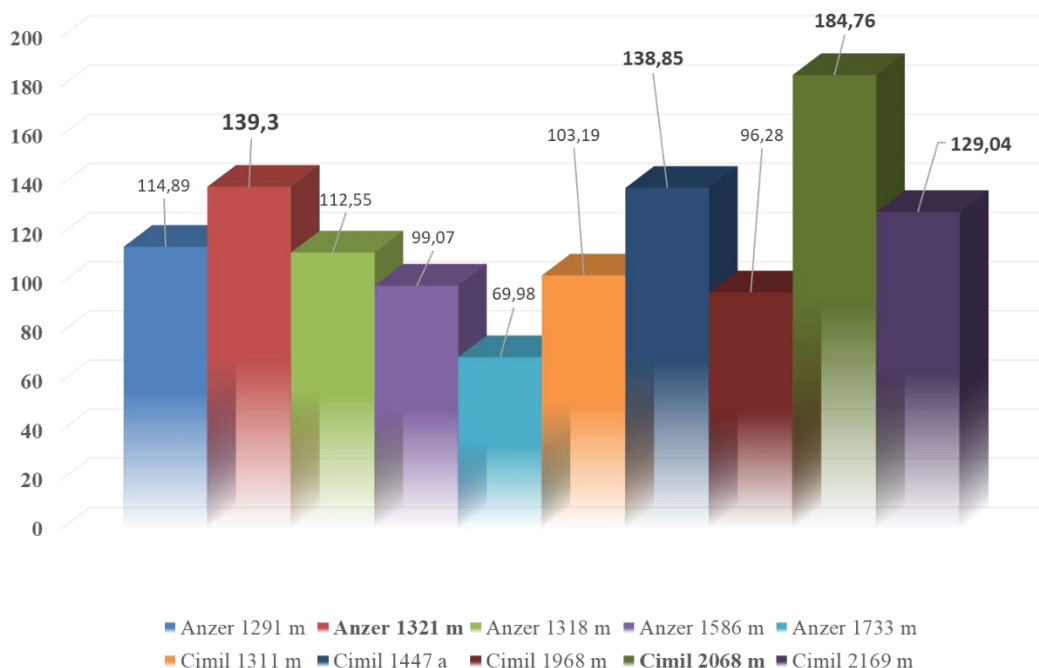


Image 2: *Hypericum perforatum* (L.) Total Phenolic Content (mg GAE g-1 dw)

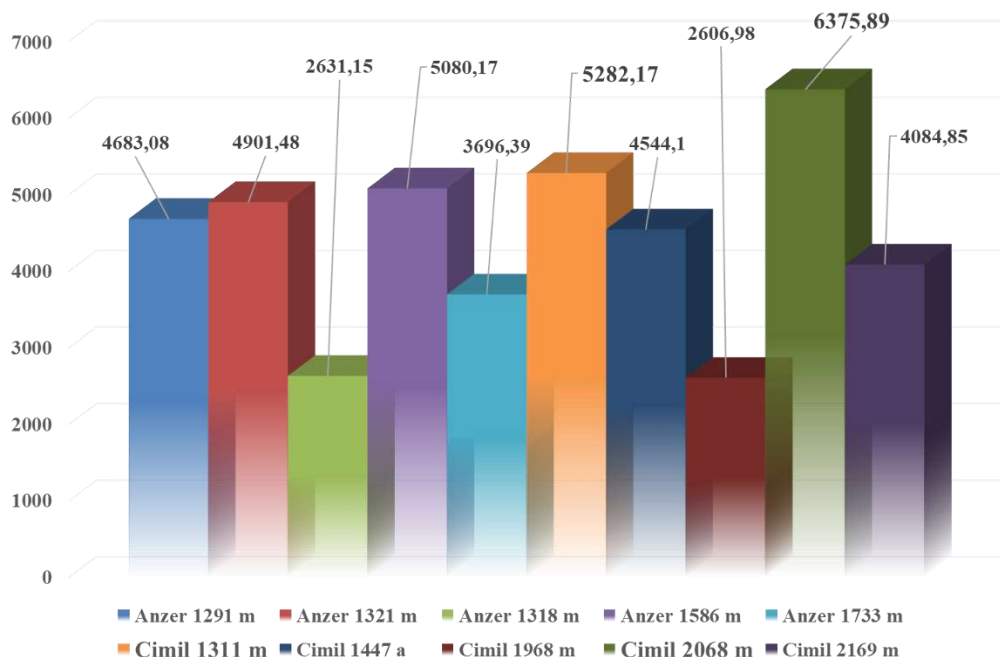


Image 3: *Hypericum perforatum* (L.) Antioxidant Activity (FRAP) (µmol FeSO4 g-1 dw)

When the data is examined; In general, it is possible to say that the total phenolic substance content of the plant samples collected from the Cimil plateau is higher than the samples collected from the Anzer plateau. When the samples collected from different altitudes of Çimil plateau are examined; Plants with the lowest antioxidant content; 1968m is the highest; It was obtained from plants collected from 2068m. The secondary metabolite content of plants is primarily responsible for their overall biological activity. Agronomic, genetic and

environmental factors all influence the secondary metabolite content of plants (Neugart et al., 2018).

Following the antioxidant compound's reaction with DPPH, the DPPH radical's colour changes at 517 nm to determine the free radical scavenging activity. By giving the DPPH radical hydrogen, antioxidants stabilise. When it came to scavenging free radicals, *H. perforatum* outperformed the antioxidant BHA standard in the work of Güzel et al. (2019). The authors stated that *H. perforatum* may be a free radical inhibitor in light of these findings. In the same study using FRAP *H. perforatum* showed a higher reducing capacity than the standard antioxidant BHA (Soare et al., 1997).

The secondary metabolite content of the plants is primarily responsible for their overall biological activity. Agronomic, genetic, and environmental factors all influence the plants' secondary metabolite contents (Neugart et al., 2018). In our case it seems that genotype was more effective in given results, which needs further provement. There aren't many studies on the various *Hypericum* species in our nation. However, because of the variety of *Hypericum* species that our geography supports, its rich biodiversity allows for further research to bridge this scientific gap. For this reason, our research's data can be utilized and enhanced for further research in this area.

REFERENCES

- Altun, M.L., Yılmaz, B.S., Orhan, I.E., Gülcin Saltan Citoglu, Assessment of cholinesterase and tyrosinase inhibitory and antioxidant effects of *Hypericum perforatum* L. (St. John's wort), Industrial Crops and Products, Volume 43, 87-92, 2013.
- Baytop, T. Treatment with herbs in Turkey: past and present. Turkey , 1999.
- Chrea, B., O'Connell, J. A., Silkstone-Carter, O., O'Brien, J., and Walsh, J. J. (2014). Nature's antidepressant for mild to moderate depression: isolation and spectral characterization of hyperforin from a standardized extract of St. John's wort (*Hypericum perforatum*). Journal of chemical education, 91(3), 440-442.
- Demirkiran, O., Mesaik, M.A., Beynek, H., Abbaskhan, A., Choudhary, M.I. Immunosuppressive phenolic constituents from *Hypericum montbretii* Spach. Records Natural Products, 7, 210, 2013.
- Duke, J. A. CRC Handbook of Medicinal Herbs. In International Clinical Psychopharmacology, 1990.
- Güzel, A., Akyüz, M., and Şanda, M. A. (2019). Determination of Antioxidant activity of *Hypericum perforatum*. Journal of Integrative and Anatolian Medicine, 1(1), 9-18.
- Klemow, K. M., et al. "Medical Attributes of St. John's Wort (*Hypericum perforatum*). Editors In: Benzie IFF, Wachtel-Galor S, editors. Source Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects. Chapter 11." 2011.

- Miller, A. L. (1998). St. John's Wort (*Hypericum perforatum*): clinical effects on depression and other conditions. *Alternative medicine review: a journal of clinical therapeutic*, 3(1), 18-26.
- Neugart, S., Baldermann, S., Hanschen, F. S., Klopsch, R., Wiesner-Reinhold, M., and Schreiner, M. (2018). The intrinsic quality of brassicaceous vegetables: How secondary plant metabolites are affected by genetic, environmental, and agronomic factors. *Scientia Horticulturae*, 233, 460-478.
- Ozkan, E.E., Ozden, T.Y., Ozsoy, N., Mat, A. Evaluation of chemical composition, antioxidant and anti-acetylcholinesterase activities of *Hypericum neurocalycinum* and *Hypericum malatyanum*. *S. Afr. J. Bot.*, 114, 104–110, 2018.
- Redvers, A., Laugharne, R., Kanagaratnam, G., and Srinivasan, G. J. P. B. (2001). How many patients self-medicate with St John's wort?. *Psychiatric Bulletin*, 25(7), 254-256.
- Soare, J. R., Dinis, T. C., Cunha, A. P., and Almeida, L. (1997). Antioxidant activities of some extracts of *Thymus zygis*. *Free radical research*, 26(5), 469-478.
- Zheleva-Dimitrova, D., Nediakov, P., and Momekov, G. (2013). Benzophenones from *Hypericum elegans* with antioxidant and acetylcholinesterase inhibitory potential. *Pharmacognosy Magazine*, 9(Suppl 1), S1.

***Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bitkisinin Tıbbi ve Endüstriyel Yönünün Araştırılması**

***Emine YURTERİ*^{1*}**

¹Dr. Öğr. Üyesi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Rize, TÜRKİYE

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3770-2714>

^{1*}emine.yurteri@erdogan.edu.tr

***Aysel ÖZCAN AYKUTLU*²**

²Arş. Gör. Dr., Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Rize, TÜRKİYE

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-0401-2071>

²aysel.ozcan@erdogan.edu.tr

***Fatih SEYİS*³**

³Prof. Dr., Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Rize, TÜRKİYE

³ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9714-370X>

³fatih.seyis@erdogan.edu.tr

ÖZET

Stevia (*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Asteraceae familyasından, olan yabancı, küçük ve çalimsı bir bitkidir. *Stevia*'nın M.Ö. 1500 yıllarından beri Güney Amerika'da yaşayan Guarani'ler adlı yerli kabile tarafından yaygın bir şekilde kullanıldığı bilinmektedir. *Stevia*, Paraguay Kızılderilileri tarafından "tatlı ot" ve "ballı yaprak" gibi değişik isimlerle adlandırılmıştır. 1931 yılında, iki Fransız kimyager (M. Briedel ve R. Lavieille) *Stevia*'nın kendine özgü tatlandırıcı özelliğini veren glikozitleri izole etmiştir. Bu bileşikler Stevioside ve Rebaudioside olarak adlandırılmış ve şekere (sakaraöz) göre 250-300 kez kat daha tatlı, ısı ve pH stabilitesi yüksek, fermente olmayan bir tatlandırıcı olduğu belirlenmiştir. *Stevia*; *Stevia* ekstraktı, insan sağlığı üzerindeki mükemmel etkileri sebebiyle insanlar arasında oldukça yaygındır. Yüksek adaptasyon ve yüksek tatlandırıcı özelliğinden dolayı Şeker kamışından/pancarından elde edilen şeker yerine kullanılabilen bir ürün olarak kabul edilmektedir. En iyi doğal sağlıklı tatlandırıcı» olarak nitelendirilmektedir. Şekerleme, içecek, gıda, ilaç vb. gibi farklı sektörlerde geniş bir şekilde kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Steviozit, obezite, *rebaudiana*

Investigation of Medicinal and Industrial Aspects of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Plant

Emine YURTERİ*

***¹Assistant Professor, Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Agriculture, Field Crops
Department, Pazar, Rize***

¹ORCID: 0000-0002-3770-2714

^{1*}emine.yurteri@erdogan.edu.tr

Aysel ÖZCAN AYKUTLU²

***²Research Assistant PhD, Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Agriculture, Field
Crops Department, Pazar, Rize***

²ORCID: 0009-0001-0401-2071

²aysel.ozcan@erdogan.edu.tr

Fatih SEYİS³

***³Professor, Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Agriculture, Field Crops
Department, Pazar, Rize***

³ORCID: 0000-0001-9714-370X

³fatih.seyis@erdogan.edu.tr

ABSTRACT

Stevia (*Stevia rebaudiana* (Bertoni)) is a wild, small and bushy plant from the Asteraceae family. Stevia B.C. It is known that it was widely used by the indigenous tribe called Guarani, who have been living in South America since 1500. Stevia was called by the Paraguayan Indians by various names such as "sweet herb" and "honey leaf". In 1931, two French chemists (M. Briedel and R. Lavieille) isolated the glycosides that give Stevia its unique sweetening property. These compounds were named Stevioside and Rebaudioside and were determined to be a non-fermentable sweetener that is 250-300 times sweeter than sugar (succharose), has high heat and pH stability. Stevia;. Stevia extract is quite common among people due to its excellent effects on human health. Due to its high adaptability and high sweetening properties, it is considered a product that can be used instead of sugar obtained from sugar cane/beet. It is described as the

"best natural healthy sweetener". Confectionery, beverage, food, medicine etc. It is widely used in different sectors such as.

Key Words: Stevioside, obesity, *rebaudiana*

1. Introduction

Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) is a wild, small and bush-like plant from the Asteraceae family. It is known that Stevia has been widely used by the Guarani indigenous tribe living in South America since 1500 BC. Stevia was called by various names such as "sweet grass" and "honey leaf" by the Paraguayan Indians. In 1897, the famous Swiss botanist Moises Santiago Bertoni made the first detailed descriptions of the Stevia plant and its sweetening properties, a new source of sweet sugar that had been known to the natives living in Central and South America for a long time (Gosling (1901); Bertoni (1905); Lewis (1992), Schultz-Bipontinus (1852).

In 1931, two French chemists (M. Briedel and R. Lavieille) isolated the glycosides that give Stevia its unique sweetening properties. These compounds were named Stevioside and Rebaudioside and were determined to be a non-fermentable sweetener that is 250-300 times sweeter than sugar (saccharose), has high heat and pH stability (Blumenthal, (1995), Clark (2000), Yoshihira et al. (1987), Oliveira (1993), Brandle et al. (1998).

It is a small seasonal plant that grows to a height of 30-60 cm. It has long leaves that grow along the stems and are arranged opposite each other. The flowers are typically pruned to improve the taste of the leaves. Stevia is a perennial plant native to the humid, wet regions of Brazil and Paraguay. Stevia extract is quite common among people due to its excellent effects on human health. It is considered a product that can be used as a sugar substitute obtained from Sugar cane/beet due to its high adaptability and high sweetening properties. It is described as the «best natural healthy sweetener». It is widely used in different sectors such as confectionery, beverages, food, pharmaceuticals, etc (Brandle, J.E. (1999), Bertoni, M.S. (1905), Kinghorn et al. (1984).

Obesity and weight gain are among the most important health risk factors in the world. For this reason, people's search for low-calorie but high-taste nutrients and foods in their weight loss programs or daily lives is increasing rapidly. The *Stevia rebaudiana* plant is one of the most studied plants in this context, and the production and use of sweeteners derived from this plant continues in many countries (Kinghorn and Soejarto (1985).

Properties of Stevia Plant:

- ✓ White or off-white powder or granule form with 250-300 times more flavor intensity:
- ✓ When consumed in high concentrations, it leaves a slightly bitter taste
- ✓ It has only 1/300 of the calories of cane sugar.
- ✓ Its taste can stay in the mouth longer and does not disappear easily.
- ✓ Melting point = 196°C-198°C >>Stevioside has the ability to withstand high temperatures.

To summarize briefly; The main reasons why Stevia is different from other sweeteners are; it is heat resistant, non-toxic, does not leave a bitter taste in the mouth and has a high fiber content. In addition, the sweetening feature of Stevia is due to the high sweetness and low calorie properties of glycosides.

Chemical Composition of Stevia Plant:

Stevia leaves contain steviol glycosides, phenolic compounds, vitamin C, carotenoids and chlorophylls. The fact that it is rich in glycosides and phenolic compounds allows the plant to be widely used in medicine and to be studied. It is a strong antioxidant and antimicrobial plant thanks to the density of phenolic compounds (Oliveira Ferro, V. (1997), Kinghorn, A.D. and Soejarto, D.D. (1991), Bertoni, M.S. (1918)). The leaves contain more than one steviol glycoside compound (5–10%), and these are; Rebaudioside A (2–4%), Rebaudioside B (< 1%), Rebaudioside C (1–2%), Rebaudioside D (< 1%), Rebaudioside E (< 1%) and Dulcoside A (0.5–1%). Among these steviol glycosides, the most valuable is Rebaudioside A (Reb A), which is 400-500 times sweeter than normal sugar (Kinghorn et al. (1985), Crammer and Ikan (1987) and Phillips (1987)).

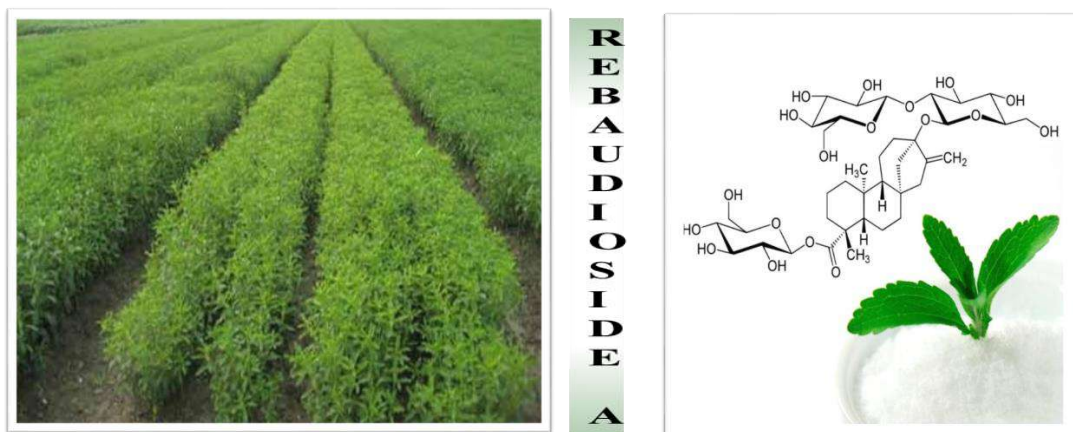


Figure 1. Chemical appearance of the stevia plant and steviosides Rebaudioside A

Medicinal value and uses of *Stevia rebaudiana*:

Antioxidant Properties: Antioxidants are substances that delay the onset of oxidation of autoxidizable materials or reduce the rate of oxidation. It is known that hundreds of compounds, both natural and synthetic, have antioxidant properties.

They stated that the antioxidant properties of *S. rebaudiana* leaves are due to polar compounds such as chlorophyll, carotenoids, phenolic compounds and flavonoids. Phenolic compounds are divided into two groups as phenolic acids and flavonoids. Flavonoids are polyphenolic antioxidants found in the natural structures of herbal teas, fruits and vegetables Katz, N.L. and Kamath, S.K. (1985), Bertoni, M.S. (1918), Brandle, J.E. and Rosa, N. (1992), Sakaguchi, M. and Kan, T. (1982)). It was determined that there are antioxidant compounds such as phenolic compounds and flavonoids in Stevia leaves and the existing phenolic compounds found in Stevia are given in Figure 2.

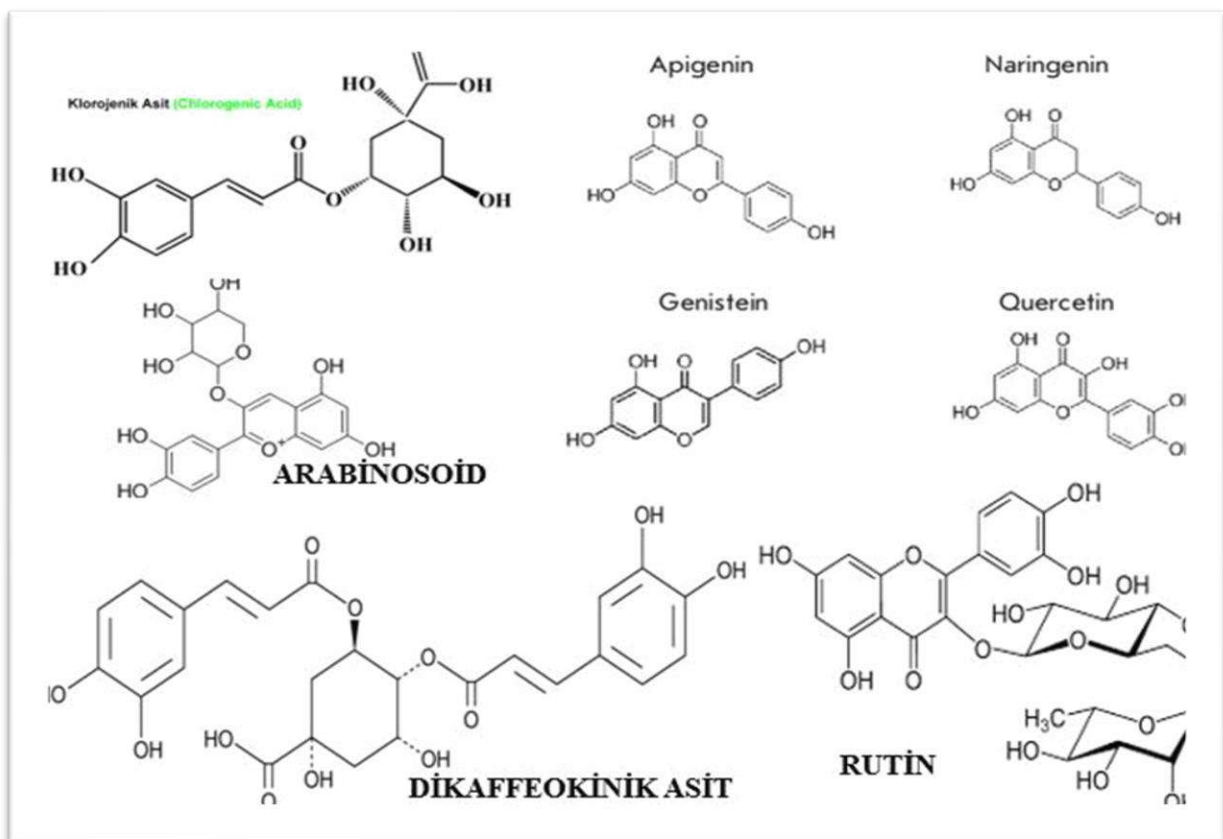


Figure 2. Phenolic compounds found in the Stevia plant and their chemical appearance

Antimicrobial Properties: Antimicrobial compounds are mostly found in plants and/or fruits as secondary metabolites such as phenols and their oxygen-substituted derivatives Oliveira Ferro,

V. (1997). The main compounds responsible for antimicrobial effects in plants are known as Phenolics, Phenolic acids, Quinones, Saponins, Flavonoids, Tannins, Coumarins, Terpenoids and Alkaloids. Although the mechanisms of action of natural antimicrobial substances are not fully understood, it is known that terpenoids and phenolics break down cell membranes, flavonoids cause metal chelation, and coumarins and alkaloids prevent microorganism growth by affecting genetic material (Mata et al. (1992), Muanda, F.N.et al. (2011). Kinghorn, A.D.et al.,(1995), Kinghorn, A.D. and Soejarto, D.D. (1991), Kinghorn, A.D. and Compadre, C.M. (1991)).

It has been determined that there are some phenolic acids such as gallic acid, caffeic acid and protocatechuic acid with antimicrobial effect in *Stevia rebaudiana* extracts and some flavonoid substances such as quercetin, isoquercetin, apigenin and luteolin that may be present in *Stevia rebaudiana* extract. In addition, there are various studies on the antimicrobial properties of Stevia. Steviol glycosides can be used instead of sugar in patients with obesity, diabetes, hyperlipidemia, coronary diseases and phenylpropanoid ketone (PKU). It can also serve as an adjunct to treatment (Sakaguchi, M. and Kan, T. (1982), Schultz-Bipontinus, C.H. (1852). It helps in the prevention of external decay and enteric diseases. According to clinical studies, stevia is especially effective in improving insulin sensitivity in type 2 diabetes. Steviol glycosides can help bacteria and lactobacilli grow. These bacteria ferment carbohydrates in food, producing acetic acid, propionic acid, butyric acid and lactic acid, which lower intestinal pH and inhibit the growth of pathogens such as Escherichia coli, Clostridium and Salmonella. Steviol glycosides reduce the formation of spoilage, help intestinal penstaltis and relieve constipation. Stevia fermentation extract has a pronounced function on histamine antagonist (antihistamine), has a relieving effect on allergic rhinitis (hay fever), urticaria (urticaria) and asthma (Harvey (1975); Bruneton (1995).

Industrial Use of Stevia:

The Stevia plant has entered many areas in the industry thanks to the natural sweetener it contains. Steviosides and steva plant, which are widely used in many countries; In the USA, the use of Stevia as a food additive was banned in 1987, but in 1995, the plant was allowed to be used as a diabetes product and as a sweetener after 2008. Since December 2011, the European Union (EU) has allowed the use of Steviol Glycosides (E960) as a food additive and sweetener and has determined the daily intake amount for Stevia glycosides as 4 mg/kg body weight. In addition, its use in various food categories has been deemed appropriate for special medical purposes and weight control food supplements and diet foods, flavored fermented milk products,

ice cream, chocolate products, bakery products, marmalade, fruit nectar, flavored drinks. (Anonymus 2024 c). In our country, according to the Turkish Food Codex Food Additives Regulation (numbered 28693), published in the Official Gazette on 30.06.2013, Steviol Glycosides (E 960) are permitted to be used as sweeteners in Turkey. In our country, according to the Turkish Food Codex Food Additives Regulation (numbered 28693), published in the Official Gazette on 30.06.2013, Steviol Glycosides (E 960) are permitted to be used as sweeteners in Turkey. (Anonymus, 2024a).

Table: 1. Industrial Uses of Stevia Plant

Product	Additive dose	Advantage
Drink	10-50%	(1) Improves taste. (2) Reduces high sugar taste. (3) Can be used by people who cannot consume much sugar.
Medicine	Based on need	(1) Reduces cost. (2) Increases health protection. (3) Increases taste.
Cold drink	10-25%	(1) Improves taste.
Product containing alcohol	20-50%	(1) Stevia liquid is light in color and tastes fresh. (2) Reduces the high sugar taste. (3) Extends shelf life.
Sugary fruits	20-30%	(1) Improves taste and extends shelf life.
Flavor	20-30%	(1) Improves flavor and extends shelf life. (2) Reduces pickling time, reduces dehydration. (3) No browning or fermentation.
Spice	20-40%	(1) Preserves packaging properties. (2) Enhances taste and extends shelf life. (3) Reduces product costs.
Toothpaste	Based on need	(1) Taste stays on the palate for a long time. (2) Helps to clean bacteria in the mouth. (3) Reduces product costs.
Beer	10-40%	(1) Improves taste. (2) Creates more foam.
Fruit wine	50%	(1) It can increase the aroma of wine. (2) It reduces its density and improves its taste.
Liqueur	10-20%	(1) It can remove hot taste from wine.

Kaynak; Anonymus, (2024b)

As a result, the stevia plant; It has positive effects on high blood pressure, diabetes, obesity, heart diseases, tooth decay, etc., colds, influenza, skin care, and other skin-related diseases, and is used in the treatment of many diseases. In the industrial field, it is among the products that do not threaten human health as a safe food, and is used as a natural sweetener for medical purposes.

KAYNAKÇA

Anonymus 2024a :<https://baka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/stevia.pdf> (Access date: 29.12.2024)

Anonymus, 2024b: <https://www.britannica.com/plant/stevia-plant> (Access date: 29.12.2024)

Anonymus, 2024c: https://en.wikipedia.org/wiki/Stevia_rebaudiana (Access date: 29.12.2024)

Bertoni, M.S. (1905) Le Kaá hê-é: sa nature et ses propriétés. *Anales Cientificos Paraguayos*, Serie I 5, 1–14.

Bertoni, M.S. (1918) La *Stevia rebaudiana* Bertoni. La estevina y la rebaudina, neuvassubstancias edulcorantes. *Anales Cientificos Paraguayos*, Serie II 6, 29–134.

Blumenthal, M. (1995) FDA lifts import ban on Stevia. Herb can be imported on as a dietary supplement; future use as a sweetener is still unclear. *HerbalGram* 35, 17–18.

Brandle, J.E. (1999) Genetic control of rebaudioside A and C concentration in leaves of the sweet herb, *Stevia rebaudiana*. *Canadian Journal of Plant Sciences* 79, 85–92.

Brandle, J.E. and Rosa, N. (1992) Heritability for yield, leaf:stem ratio and stevioside content estimated from a landrace cultivar of *Stevia rebaudiana*. *Canadian Journal of Plant Sciences* 72, 1263–1266.

Brandle, J.E., Starratt, A.N. and Gizjen, M. (1998) *Stevia rebaudiana*: its agricultural, biological, and chemical properties. *Canadian Journal of Plant Sciences* 78, 527–536

Bruneton, J. (1995) *Pharmacognosy, Phytochemistry, Medicinal Plants*, Lavoisier, Paris, pp. 422–423.

Clark, S. (2000) Sweet dreams. *London Sunday Times, Style section*, 1 April, p. 51.

Crammer, B. and Ikan, R. (1987) Progress in the chemistry and properties of the rebaudiosides. In *Developments in Sweeteners-3*, T.H.Grenby (Ed.), Elsevier Applied Science, London, pp. 45–64.

Gosling, C. (1901) Caá-êhê or azuca-caá. *Kew Bulletin*, pp. 183–194

Harvey, S.C. (1975) Topical drugs. In *Remington's Pharmaceutical Sciences (15th edn)*, Mack Publishing Co., Easton, Pennsylvania, pp. 719–722.

Katz, N.L. and Kamath, S.K. (1985) Studies to identify, isolate, develop, and test naturally occurring noncariogenic sweeteners that may be used as dietary sucrose substitutes. *Government Reports and Announcements Index (United States) 85 (11)*, 47. [Chemical Abstracts (1985) 103, 86674c].

Kinghorn, A.D. and Compadre, C.M. (1991) Less common high-potency sweeteners. In *Alternative Sweeteners (2nd edn, Revised and Expanded)*, L.O'Brien Nabors and R.C.Gelardi (Eds), Marcel Dekker Inc., New York, pp. 197–218.

Kinghorn, A.D. and Soejarto, D.D. (1989) Intensely sweet compounds of natural origin. *Medicinal Research Reviews* 9, 91–115.

Kinghorn, A.D. and Soejarto, D.D. (1991) Stevioside. In *Alternative Sweeteners (2nd edn, Revised and Expanded)*, L.O'Brien Nabors and R.C.Gelardi (Eds), Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 157–171.

Kinghorn, A.D., Fullas, F. and Hussain, R.A. (1995) Structure-activity relationship of highly sweet natural products. In *Studies in Natural Products Chemistry. Volume 15, Structure and Chemistry (Part C)*, Atta-urRahman (Ed.), Elsevier, Amsterdam, pp. 3–41.

Kinghorn, A.D., Soejarto, D.D., Katz, N.L. and Kamath, S.K. (1985) Studies to identify, isolate, develop, and test naturally occurring noncariogenic sweeteners that may be used as dietary sucrose substitutes. *Government Reports and Announcements Index (United States) 85 (11)*, 47. [Chemical Abstracts (1985) 103, 86674c].

Kinghorn, A.D., Soejarto, D.D., Nanayakkara, N.P.D., Compadre, C.M., Makapugay, H.C., HovanecBrown, J.M. et al. (1984) A phytochemical screening procedure for sweet ent-kaurene glycosides in the genus *Stevia*. *Journal of Natural Products* 47, 439–444.

Kinghorn, A.D., Soejarto, D.D., Nanayakkara, N.P.D., Compadre, C.M., Makapugay, H.C., HovanecBrown, J.M. et al. (1984) A phytochemical screening procedure for sweet ent-kaurene glycosides in the genus *Stevia*. *Journal of Natural Products* 47, 439–444.

Lewis, W.H. (1992) Early uses of *Stevia rebaudiana* (Asteraceae) leaves as a sweetener in Paraguay. *Economic Botany* 46, 336–337.

Mata, R., Rodríguez, V., Pereda-Miranda, R., Kaneda, N. and Kinghorn, A.D. (1992) Stevisalioside A, a novel bitter-tasting ent-atisene glycoside from the roots of *Stevia salicifolia*. *Journal of Natural Products* 55, 660–666.

Muanda, F.N., Soulimani, R., Diop, B., Dicko, A. (2011). Study on chemical composition and biological activities of essential oil and extracts from *Stevia rebaudiana* bertonii leaves. *LWT-Food Science and Technology*, 44(9), 1865–1872.

Oliveira Ferro, V. (1997) Faculty of Pharmaceutical Sciences, University of São Paulo, São Paulo, Brazil, private communication

Phillips, K.C. (1987) *Stevia*: steps in developing a new sweetener. In *Developments in Sweeteners -3*, T.H. Grenby (Ed.), Elsevier Applied Science, London, pp. 1–43.

Sakaguchi, M. and Kan, T. (1982) Japanese research on *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertonii and stevioside. *Ciência e Cultura* (São Paulo), 34, 235–248.

Schultz-Bipontinus, C.H. (1852) *Stevia*. *Linnaea* 25, 268–292.

Yoshihira, K., Matsui, M. and Ishidate, M. (1987) Chemical characteristics and biological safety of a glycosidic sweetener, stevioside. *Tokishikoroji Forami* 10, 281–289

FARKLI DOZLARDA UYGULANAN SİLİSYUM VE POTASYUMUN DOMATES (*Solanum lycopersicum L.*) FİDESİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ

Doç. Dr. Özlem ÜZAL

Van Yüzüncü Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Van, Türkiye
ozlemuzal@yyu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-1538-820X

Yük. Zir. Müh. Ramazan PARAN

Van Yüzüncü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye,
ramazannpr18@gmail.com, ORCID ID:0009-0008-3381-4576

Prof. Dr. Fikret YAŞAR

Van Yüzüncü Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Van, Türkiye,
fyasar@yyu.edu.tr- ORCID ID:0000-0001-6598-8580

ÖZET

Bu çalışmada, farklı dozlarda potasyum (K) ve silisyum (Si) elementi uygulamalarının domates fidesi gelişimi üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Çalışmada, Falcon domates tohumu kullanılmıştır. Torf ve perlit karışımından hazırlanan fide yetiştirme harcı, viyollere doldurulduktan sonra tohumlar bu karışıma eşit derinlikte ekilmiştir. Tohumlar çimlenene kadar sulama saf su ile yapılmıştır. Viyollerin üzeri kağıtla kapatılmış ve çimlenme süreci başladıktan sonra kağıt kaldırılmıştır. Gerçek yapraklar ortaya çıkan fideler, ondört farklı besin solüsyonu ile sulanarak büyütülmüştür. Hazırlanan besin solüsyonlarında N, P, Ca, Mg, S, Fe, B, Cu ve Zn sabit tutulurken, K ve Si ise farklı dozlarda uygulanmıştır. Dikim olgunluğuna gelen fidelerin gelişim parametrelerinden yaş kök, yaprak ve gövde ağırlıkları (g), yaprak sayısı (adet), gövde boyu ve çapı (mm) ve boğum arası mesafe (mm) ölçümleri yapılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde Statgraphics istatistik analiz paket programı kullanılmıştır. Yapılan ölçüm ve analizler sonucunda; 5,11 ve 14. uygulamaların yapıldığı fidelerin en kaliteli, iyi gelişmiş fideler olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Domates fide gelişimi; Fide kalitesi; Potasyum; Silisyum

1. GİRİŞ

Sebzecilikte, başarılı bir üretimin temel esasını fide ile üretim yapılmaktadır. Domates, biber, patlıcan, lahanaya, karnabahar, brokoli, marul ve hıyar gibi sebze türleri fideyle üretimi yapılmaktadır. Bunun yanında turfanda yetiştiricilikte ve örtü altı sebzecilikte çoğu sebze türünün fideleri üretilip ardından üretimi yapılacak yerlere dikimlri yapılmaktadır. Üreticiler, fide ile üretime başlamayı tercih ederek arazi, tohum ve enerji tasarrufu sağlamanın yanı sıra sağlıklı, homojen bir üretim ve erkencilik avantajı elde etmektedir (Demir ve ark.,2010).

Üretici koşullarındaki zorluklar nedeniyle, son yıllarda ülkemizde kontrollü ortamlarda üretilen hazır fideler için talep artmıştır. Hazır fideler, toprak kökenli kök ve kök boğazı hastalıklarından arındırılmıştır. Fidelere uygulanan özel bakım süreçleri sayesinde, kök sistemi güçlü bir şekilde gelişir ve arazide dikilen fideler hızlı bir şekilde tutunarak hızla büyür ve gelişir.

Potasyum bitkilerde hayati önemi olan fizyolojik, biyokimyasal ve metabolik işlevlere sahiptir. Bu işlevler sonucunda da bitkilerin verimi ve kalitesi artmaktadır. Potasyum protein kapsamına, turgora, bitkilerde su yitmesine, solmayı önler, enzim aktivitesine, fotosenteze, bitki besin elementlerinin ve fotosentez ürünlerinin taşınmasına yardım eder. Potasyum bitkilerin kök gelişimi ve büyümesini olumlu şekilde etkileyerek bitkilerin yatmasını önler, düşük sıcaklığa, hastalık ve zararlılara karşı dayanımı artırır, erkenciliği sağlar, azotun etkinliğini artırır. Bu etkinlikleriyle potasyum, verim üzerine olumlu etki yapar. Protein içeriklerini artırarak gıda ve yem bitkilerinin besin değerlerini yükseltmektedir, yem bitkilerinin daha kaliteli olmalarına yardım etmektedir. Mısır ve öteki daneli bitkilerin danelerinin dolgun olmalarını, üniform şekilde erken olgunlaşmalarını sağlamaktadır. Çeşitli meyvelerin renk, büyüklük, tat ve aromalarına olumlu etki yapar, depolanmalarında ağırlık kaybının az olmasına, pazarlama oranının artmasına ve pazarlarken taşınmaları esnasındaki kaybı en aza indirmek suretiyle kaliteyi artırmasına fayda sağlar (Kacar,2005).

Son yıllarda, silisyum elementinin bitkilerin büyüme ve işlevleri üzerindeki doğrudan veya dolaylı olumlu etkileri nedeniyle dünya genelinde silisyuma olan ilgi artmıştır. Silisyumun, özellikle elverişsiz iklim koşullarında yüksek sıcaklık ve kuraklık stresi, mineral toksisitesi ve aşınmaya karşı dayanıklılık gibi abiyotik streslere; bitki hastalıkları ve zararlı böceklerle karşı koruma sağlayarak biyotik streslere karşı bitkileri desteklediği ve gelişimlerini teşvik ettiği belirtilmektedir (Sistani ve ark, 1997; Hasegawa ve ark., 2000).

Silisyum, bitkide hareketsiz olduğu için transpirasyon yoluyla bitkinin üst yapraklarına taşınır. Alınan silisyum özellikle yaprak kutikülünün altında birikerek yaprakların daha dik durmasına katkıda bulunur, fotosentetik etkinliği artırır ve transpirasyonu destekler. Bunun yanı sıra, bitki sapının sağlamlığını artırarak yatmaya karşı direnç sağlar ve fide dikimi sonrasında kardeşlenme oranını yükseltir (Ma ve ark., 2004).

Bu bilgilerin ışığında yapılan bu çalışma, farklı dozlarda potasyum (K) ve silisyum (Si) elementi uygulamalarının domates fide gelişimi üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, split klimalı iklim odasında gerçekleştirilmiştir. Denemede bitkisel materyal olarak, Bursa Tohum firmasının Falcon isimli standart domates çeşidine ait tohumlar tercih edilmiştir. Falcon standart domates çeşidi, açık alan yetiştiriciliği için uygun bir yer domatesi olup, meyveleri yuvarlak şekilli, sert kabuklu ve kırmızı renklidir. Meyveler saplı olarak dalından koparılabilir ve ortalama 200-250 gram ağırlığındadır. Orta erkenci bir çeşit olup (80-85 gün), sofralık tüketim için uygundur. Tohumlar yetiştirme alanı olan iklim odasında; % 70

nem, 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık fotoperiyodunda, 22 ± 2 °C sıcaklık olacak şekilde ayarlanan kontrollü koşullar altında yetiştirilmiştir.

Fidelerin yetiştirilmesi için ağız çapı 60 mm, derinliği 65 mm olan plastik viyoller tercih edilmiştir. Fide yetiştirme ortamı olarak ise 3:1 oranında torf ve pomza karışımı kullanılmıştır. Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine uygun olarak, her bir uygulama 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 20 bitki olacak şekilde planlanmıştır. Tohumların aynı derinliğe ekilmesine özen gösterilerek, viyollere torf ve pomza karışımı doldurulmuştur. Her bölmeye birer tohum yerleştirilerek, tohumların üzeri 0.5 - 1 cm kalınlığında harç karışımı ile kapatılmıştır. Tohumlar çimlenene kadar sulama, saf su ile yapılmıştır. İkinci aşamada ise fideler, dikim olgunluğuna ulaşana kadar belirli aralıklarla, Çizelge 1'de belirtilen besin solüsyonları ile sulanmıştır. Kullanılan silisyum kaynağının özellikleri ise;

Nanokar firmasından temin edilen Silisyum dioksit ya da silika, silisyum ve oksijen içeren bir kimyasal bileşiktir. Firmanın kataloğundan ve yetkililerden alınan bilgilere göre, Silisyum Dioksit 200 m²/g spesifik yüzeye sahip hidrofilik bir dumanlı silika özelliği taşımaktadır. Kimyasal formülü SiO₂ olan bu bileşik, 16. yüzyıldan beri bilinmektedir. Yapısında 2 oksijen ve 1 silisyum atomu bulunur. 22 nm tanecik boyutuna, %99,95 saflık oranına sahiptir ve suda kolaylıkla çözünmektedir (Savant ve ark., 1996).

Üçüncü aşamada ise dikim olgunluğuna gelen domates fidelerinde fide gelişimi ve fide kalite parametrelerini belirlemek amacıyla kök ağırlıkları(g), gövde çapı(mm), gövde boyu(cm), gövde ağırlığı(g), yaprak sayısı(adet), yaprak ağırlığı(g), boğum arası mesafe(cm) ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Bitki kök, gövde ve yaprak ağırlıkları hassas terazide ölçülmüştür. Gövde çap kumpasla, gövde boyu ve boğum arası mesafeleri belirlemede cetvel kullanılmıştır. Yaprak sayısı adet olarak belirlenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen veriler, Statgraphics adlı istatistik analiz yazılımında varyans analizi ile incelenmiştir. İstatistiksel açıdan anlamlı bulunan deneme konuları, %5 anlam düzeyinde Duncan yöntemiyle gruplara ayrılmıştır.

Çizelge 1. Denemede Kullanılan Besin Solüsyonlarının Konsantrasyonları (ppm)

Elementler	Uyg.1	Uyg.2	Uyg.3	Uyg.4	Uyg.5	Uyg.6	Uyg.7	Uyg.8	Uyg.9	Uyg.10	Uyg.11	Uyg.12	Uyg.13	Uyg.14
Azot	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186
Fosfor	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02
Potasyum	146	166	186	206	146	166	186	206	146	166	186	206	146	146
Magnezyum	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Kalsiyum	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Demir	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35
Mangan	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Bor	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457
Bakır	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Çinko	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
Kükürt	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
Silisyum	100	200	300	400	400	300	200	100	-	-	-	-	200	300

3. BULGULAR

Fideler dikim olgunluğuna geldiklerinde kök boğazlarından makas ile kesildikten sonra ölçümlere başlanmıştır. Fidelerde bitki ağırlığı, kök ağırlıkları, gövde çapı, gövde boyu, gövde ağırlığı, yaprak sayısı, yaprak ağırlığı, boğum arası mesafelerinin ölçümü yapılmıştır. Fidelerin gelişim parametrelerine ait veriler Çizelge 2’de verilmiştir.

Bitki kök ağırlığı, gövde çapı, gövde boyu, gövde ağırlığı, yaprak sayısı ve yaprak ağırlığı değerleri arasında istatistiksel açıdan önemli ($p<0.05$) farklılıklar bulunmuştur.

3.1 Bitki Kök Ağırlığı

Kök ağırlığında en yüksek değer 2. ve 11. uygulamalarda (sırasıyla 1.447 g, 1.317 g) en düşük değer ise 0.644 g ile 4. uygulamada ölçülmüştür. 3., 4., 5., 6., 12., 13. uygulamalar ise 4. Uygulama ile aynı istatistiki grupta yer almıştır. Diğer uygulamalarda ise kök ağırlıkları 0.667 g ile 1.162 g arasında değişmiştir.

3.2 Bitki Gövde Çapı

En yüksek gövde çapı ortalaması 10. ve 14. Uygulamalarda (3.569 mm), en düşük gövde çapı ortalaması ise 4. uygulama (3.296 mm) ve bunu aynı istatistiki gruba giren 9. ve 7. uygulamalarda (3.356 mm, 3.367 mm) ölçülmüştür. Diğer uygulamalarda ise gövde çapı ortalamaları 3.367 mm ile 3.540 mm arasında değişmiştir.

3.3 Bitki Gövde Boyu

Uygulamalar arasında ortalama gövde boyu bakımından en yüksek gövde boyu 2. Uygulamada (12.288 cm) ölçülürken, en düşük gövde boyu ise ortalamanın çok altında bir değer ile 9. Uygulamada (10.765 cm) ölçülmüştür.

3.4 Bitki Gövde Ağırlığı

Gövde ağırlıkları bakımından en yüksek olan 14. ve 10. Uygulamalarda (sırasıyla 1.298 g, 1.254 g), gövde ağırlığında en düşük değerler ise 9. ve 4.Uygulamalarda (sırasıyla 1.015 g, 1.028 g) ölçülmüş olup bu değerler ortalamanın altında kalmıştır.

3.5 Bitki Yaprak Sayısı

Uygulamalar arasında yaprak sayısı en fazla olan uygulama 5. Uygulama (4.088 adet), en az yaprak sayısı ise 9. Uygulama (3.577 adet)’da belirlenmiştir. Diğer uygulamalarda ise yaprak sayısı ortalamaları 3.711 adet ile 3.711 adet arasında değişmiştir.

3.6 Bitki Yaprak Ağırlığı

Uygulamalar arasında yaprak ağırlığı en yüksek sırasıyla 14. ve 5. Uygulamalar olup (1.944 g, 1.932 g), en düşük değerler ise sırasıyla 9. ve 4. Uygulamalar (1.571 g ve 1.648 g) da belirlenmiştir.

3.7 Bitki Boğum Arası Mesafe

Boğum arası mesafesi en fazla olan 14. Uygulama (1.986 cm), en az olan uygulama ise 6. Uygulama olmuştur (1.300 cm). Diğer uygulamalarda ise boğum arası mesafesi ortalamaları 1.428 cm ile 1.882 cm arasında değişmiştir.

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Sebze yetiştiriciliğinde sağlıklı, kaliteli tohum ve kaliteli fide kullanmak başarılı bir üretimin temel esasını oluşturmaktadır. Yapılan sebze yetiştiriciliğinde; ismine doğru, sağlıklı ve pişkin fidenin temini başarılı bir üretimin temel taşlarından biridir.. Fide yetiştiriciliğinde pişkin fide şu özellikleri taşıması istenmektedir. Fidenin diri, dolgun ve kuru maddece zengin olması, boğum arası mesafenin az olması, uzun boylu olmaması, gövdesinin çapının kalın olması, bazı türlerde kendine özgü mumsu tabaka-tüyler ve rengin oluşmuş olması istenmektedir. Bitki bünyesinde minimum kuralına uygun bulunan besin element miktarlarının, gerekli besin elementlerinden yeterince bulunması istenir. Bütün bu bilgilerden yola çıkarak yapmış olduğumuz çalışmanın sonuçlarını değerlendirecek olursak; Bitki büyüme ve gelişme parametrelerinden olan bitki kök ağırlığı en yüksek çıkan uygulamaların sırasıyla 2. 11 ve 14. Uygulamalar olduğu görülmektedir. Adı geçen uygulamalardan 11. Uygulama dışındaki iki uygulamanın Silisyumun 200 ppm. 300 ppm uygulandığı bitkiler olduğu dikkati çekmektedir.

Fidelerin gövde çapı incelendiğinde en yüksek değerleri 5.. 10. ve 14. Uygulamanın olduğu bu uygulamalarla aynı istatistiki grupta yer alan 1., 2., 11., 12. Uygulamanın olduğu ve bu uygulamaların silisyum eklenen/potasyumun yüksek uygulandığı uygulamaların olduğu görülmektedir. Bitki gövde ağırlığının en fazla olduğu uygulama 14. (300 ppm Si, 146 ppm K) ve 10. uygulama (Silisyum ilavesiz, 166 ppm K) olduğu belirlenmiştir. N-P-K oranlarının yayırlılığında yanarda diğer besin elementleri miktarlarında vejetatif gelişmeye etki etmektedir. Çalışmada yayırlılık sınırları içindeki en yüksek miktar 14.ve 10. Uygulamanın olduğu görülmektedir. Potasyum klorofil, nişasta ve protein oluşumunda, çok sayıda enzim ve koenzimin reaksiyonunda etkin bir role sahiptir (Kantarcı, 2000) Bu uygulamalarda kullanılan silisyum ve potasyum asimilatların birikimine ve gövdede oluşan selülozik yapı ile bitkinin dik durmasına ve gövdenin kalınlaşmasına sebep olmuştur. Bitki yapraklarının ağır olması, yaprak yapısının kalın ve dolgun olmasıyla orantılıdır. Bitki boyu uzun olmayan fakat yaprak sayısının ve ağırlığının diğer uygulamalara kıyasla fazla olan uygulama 12. uygulama (Silisyum ilavesiz, 206 ppm K) dir. Sitokin hormonu oksin hormonunu baskılayarak bitki boyunun uzamasını engellenmekte, yapraklar büyüyerek ve gövdelerinde kalınlaşma gerçekleşmekte Taiz ve Zeiger (2008) olduğu bilgisine dayanarak potasyumun yüksek dozunun oksin hormonunu baskılamasıyla bitkinin boyunun uzamasını engellediğini düşünebiliriz.

Çizelge 2. Uygulamaların Fide Büyüme ve Gelişme Parametreleri Üzerine Etkileri

UYGULAMALAR	Kök Ağırlığı	Gövde Çapı	Gövde Boyu	Gövde Ağırlığı	Yaprak Sayısı	Yaprak Ağırlığı	Boğum arası mesafe
1.	0.905±0.267 F	3.519±0.307 AB	12.095±1.651 AB	1.164±0.540 B-E	3.733±0.495 BC	1.809±0.417 A-C	1.577±0.733 B-E
2.	1.447±0.559 A	3.540±0.219 AB	12.288±2.144 A	1.143±0.211 C-F	3.933±0.579 AB	1.912±0.290 AB	1.882±0.805 AB
3.	0.778±0.200 G	3.452±0.271 A-C	11.926±1.383 A-C	1.156±0.165 B-E	3.911±0.468 AB	1.819±0.264 A-C	1.704±0.651 A-D
4.	0.644±0.089 G	3.296±0.252 D	11.384±1.591 B-E	1.028±0.186 G	3.888±0.382 AB	1.648±0.199 D	1.428±0.769 DE
5.	0.661±0.141 G	3.549±0.237 A	12.195±1.667 A	1.198±0.217 BC	4.088±0.416 A	1.932±0.266 AB	1.511±0.722 C-E
6.	0.706±0.168 G	3.461±0.360 A-C	11.031±1.202 DE	1.067±0.211 E-G	3.866±0.457 AB	1.762±0.422 CD	1.3±0.602 E
7.	0.926±0.284 EF	3.367±0.279 CD	11.104±1.830 DE	1.031±0.203 G	3.933±0.539 AB	1.762±0.256 CD	1.44±0.656 DE
8.	1.162±0.339 CD	3.412±0.262 B-D	11.293±1.522 C-E	1.050±0.208 FG	3.866±0.587 AB	1.790±0.329 BC	1.431±0.755 DE
9.	1.131±0.363 CD	3.356±0.230 CD	10.765±1.650 E	1.015±0.192 G	3.577±0.543 C	1.751±0.188 CD	1.564±0.671 B-E
10.	1.044±0.411 DE	3.569±0.304 A	12.269±1.773 A	1.254±0.218 AB	3.755±0.645 BC	1.855±0.357 A-C	1.835±0.095 A-C
11.	1.317±0.353 B	3.534±0.299 AB	11.291±1.787 C-E	1.083±0.238 D-G	3.866±0.587 AB	1.892±0.285 A-C	1.482±0.529 DE
12.	0.732±0.190 G	3.533±0.192 AB	11.937±1.720 A-C	1.169±0.208 B-D	3.822±0.441 B	1.921±0.230 AB	1.606±0.684 B-E
13.	0.714±0.201 G	3.482±0.245 A-C	11.782±1.300 A-D	1.208±0.178 A-C	3.711±0.626 BC	1.819±0.292 A-C	1.553±0.554 B-E
14.	1.199±0.294 BC	3.568±0.275 A	12.282±1.681 A	1.298±0.255 A	3.866±0.504 AB	1.944±0.186 A	1.986±0.663 A
Ortalama	0.952±0.394	3.474±0.280	11.689±1.712	1.133±0.227	3.844±0.533	1.830±0.302	1.593±0.736
P Değeri	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0033	0.0000	0.0001

*Aynı sütunda farklı harfi alan ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir ($p \leq 0.05$).

Son yıllarda, silisyum elementinin biyotik ve abiyotik stres üzerindeki etkileri ile stresin azaltılmasında kullanımına yönelik araştırmalar hızla artmaktadır. Ancak, dünya literatüründe silisyum ve silisyum+potasyumun farklı dozlarının fide gelişimi-kalitesi üzerine etkilerine yönelik araştırma sonuçlarını içeren bir çalışmaya rastlanılmamış olması bilimsel kaynaklar bakımından önemli bir eksikliklerdir. Bu nedenle farklı dozlarda potasyum (K) ve silisyum (Si) elementi uygulamalarının domates fidesi gelişimi ve kalitesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Elde ettiğimiz sonuçlara göre silisyum uygun dozda uygulandığında fide gelişmesi ve kalitesi üzerine olumlu yönde etkilediği yöndedir. Tarımsal üretimde büyük öneme sahip ve özgün nitelikler taşıyan bu konunun, diğer sebze türleri üzerinde de incelenmesi tavsiye edilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2021-9474 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Demir, İ., Balkaya, A., Yılmaz, K., Onus, A.N., Uyanık, M., Kaycıoğlu, M., Bozkurt, B. Sebzelere tohumluk ve fide üretimi. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, VII. Türkiye Ziraat Mühendisliği Teknik Kongresi, 11, 15, 2010.
- Hasegawa, P. M. Bressan, R. A., Zhu, J. K., Bohnert, H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Biology*, 51(1): 463-499, 2000.
- Kacar, B. Potasyumun bitkilerde işlevleri ve kalite üzerine etkileri. Ege Üniversitesi'nin 50. Kuruluş Yılı Etkinlikleri, Çalıştay, 3-4 Ekim, Eskişehir, s: 20-31, 2005.
- Kantarcı, M.D. Toprak İlmi. İÜ Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İ Ü Yayın No. 4261, Orman Fakültesi Yayın No. 462, İstanbul, 420 s. (2000).
- Ma, J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil science and plant nutrition*, 50(1), 11-18, 2004.
- Savant, N. K., Snyder, G. H., Datnoff, L. E. Silicon management and sustainable rice production. *Advances in agronomy*, 58, 151-199, 1996.
- Sistani, N. K., Savant, Reddy, K. C. Effect of rice hull ash silicon on rice seedling growth. *Journal of Plant Nutrition*, 20(1), 195-201, 1997.
- Taiz L., Zeiger, E. Bitki fizyolojisi. Palme Yayıncılık, Ankara. 690. 2008

TUZ STRESİ ALTINDAKİ ACI VE ÇARLİSTON BİBER ÇEŞİTLERİNİN YAPRAKLARINDAKİ MAKRO ELEMENT BİRİKİMLERİ

Prof. Dr. Fikret YAŞAR

Van Yüzüncü Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Van, Türkiye,
fyasar@yyu.edu.tr, ORCID ID:0000-0001-6598-8580

Yük. Zir. Müh. Merve Gül ARSLAN

Van Yüzüncü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye,
arslan6530merve@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3808-8680

Doç. Dr. Özlem ÜZAL

Van Yüzüncü Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Van, Türkiye
ozlemuzal@yyu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-1538-820X

ÖZET

Bu çalışma, tuz stresi altında çarliston ve acı biber fidelerinin farklı gelişme dönemlerinde alınan genç, orta ve yaşlı yapraklarında makro element birikimlerini belirlemeyi amaçlamıştır.. Araştırma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bitki Fizyoloji Laboratuvarında split klimalı iklim odasında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Bursa Tohumculuk Yalova Çarliston 341 tohumu ve Bursa Tohumculuk BT İnce Kıl Acı 016 tohumu kullanılmıştır. Tohumların çimlendirilmesi için 3:1 oranda torf ve pomza karışımı hazırlanmıştır. Plastik çimlendirme kaplarına bu karışım doldurulup biber tohumları ekilmiştir ve çeşme suyu ile sulanmıştır. Plastik kapları, 25°C sıcaklık %70 neme sahip iklim odasına yerleştirilmiştir, Torf-pomza karışımı ortamında 2. gerçek yaprakları da oluşan biber fideleri, plastik küvetlerde su kültürüne alınmıştır. Her fide için üzerinde delikler olan plastik tablalara biber fideleri sünger parçaları yardımıyla sarılıp bitki kökleri suya değecek şekilde tablalar küvetlerin içine konulmuştur. Yaklaşık üç hafta sonunda tuz uygulanacak fideler için Hoagland besin çözeltisine 50 mM tuz konsantrasyonunu sağlayacak NaCl ilave edilmiştir. Ölçüm ve analizler için örnek alma işlemi, tuz uygulamasının 5. 10. ve 15. gününde yapılmıştır. Alınan örneklerde, genç, orta ve yaşlı yapraklarda Na, K, Ca, Mg, birikimlerine bakılmıştır. Çalışma sonunda. İyon birikimlerinde tuz uygulanan fidelerin Na miktarının artışıyla beraber Ca, K, Mg iyon alımında düşüş olduğu görülmüştür. Tuz stresine maruz bırakılan bitkiler, iyonlarını genellikle yaşlı yapraklarda biriktirmiştir.

Anahtar Kelimeler: Acı biber; Çarliston biber; İyon hareketleri; Tuz stresi

1. GİRİŞ

Tuz stresinin oluşturduğu problemlere bakıldığında zaman bitkilerde iyon stresine bağlı olarak büyüme ve gelişmede etkiler olduğu görülmektedir. Bu etkiler osmotik basıncın artmasıyla birlikte bitkinin su alımında sorun oluşur ve bitki beslenmede zorluk çeker. Tuzlulukla beraber sodyum ve klor elementleri yüksek oranlara çıktığı için bitki besin elementleri hücreye alınmakta güçlük çeker ve metabolizma etkilenir. Tüm bu dengesizliklerden kaynaklı hücrenin içindeki sıvının mineral yapısı ve kalsiyum dengesi bozulur (Yaşar, 2003). Bitkileri Na iyonunun zararlarından korumak amacıyla tuzdan sakınım mekanizması gibi farklı mekanizmalar oluşturulur. Toksik etkiye sahip olan Na iyonu büyük oranda yaşlı yapraklarda biriktirilip, genç yaprağa iletilmemektedir. K iyonu ise Na iyonunun tam tersi olarak yaşlı yaprak yerine genç yapraklarda biriktirmektedir. Tuz stresi altındaki bitkiler köklerden aldığı iyonu, gelişim ucuna doğru iletmede seçici değilse ya da orantılı iletmiyorsa bitki gelişimindeki azalış o derece fazladır. Potasyum birikimi sodyumun yüksek olduğu organlarda düşük, düşük olduğu organlarda yüksek çıkmaktadır. Ayrıca, bu bitkilerin genç yapraklarında, yaşlı yapraklara göre daha yüksek K bulunup; yaşlı yapraklardaki potasyumun genç yapraklara floem yoluyla taşınması sonucunda bu dengenin sağlandığını rapor edilmiştir Yaşar ve ark., 2006). Tuz stresindeki bitkilerde iyon dengesinin kurulması, canlılığın devam etmesi için önemlidir (Borsani ve ark., 2003). İyon toksisitesi, Na, Cl ve diğer elementlerin yüksek oranlarda alınmasıyla alakalıdır ve bundan dolayı iyon dengesizliğine sebebiyet vermektedir. İyon toksisitesinin meydana gelmesi, osmotik basıncın artması veya suyun bitki bünyesine alımının düşmesi gibi sebeplerden kaynaklı tuz, bitkide zararlı etkiler oluşturabilmektedir (Yaşar, 2003; Yaşar ve ark., 2006; Yaşar, 2007a; Yaşar ve ark., 2007b; Yaşar ve ark., 2007c; Mugdal ve ark., 2010). Tuzluluğun artmasıyla genellikle bitkilerde, Na^+ , Cl^- , Mn^{+2} , Cu^{+2} ve Fe^{+2} iyonlarının oranlarında artış, Ca^{+2} , K^+ , Mg^{2+} iyonlarının alımında ise azalış olduğu görülmektedir (Erdal ve ark., 2000; Kuşvuran ve ark., 2008). Bitkide yüksek oranda Na^+ ve Na^+ / K^+ oranı birçok enzimatik olayı da engelleyebilmektedir. Yüksek Na^+ oranı protein sentezinde birçok duraksamalara yol açabilmektedir (Parvaiz ve Satyawati, 2008). Bohra ve Doffling (1993) tuz stresinin iyon bozukluklarına neden olduğunu bildirmiştir. Beslenme yetersizliğinden dolayı bitkilerin kök bölgesinde aşırı sodyum olmasıyla diğer besin elementleri rekabet haline girer. Sodyumun artmasıyla potasyum alımı azalır, bu nedenle yetiştirilen bitkilerde potasyum noksanlığı görülür. Yüksek tuz oranı, Ca^{+2} iyonunun taşınmasını ve alımını azaltır. Bu nedenle bitkilerde Ca^{+2} eksikliği de görülür. Ca^{2+} 'un membran yapısının bozuk olduğu durumlarda, koruyucu bir etkisi olduğunu bildirmiştir. İyon seçiciliği, tuz stresi altındaki bitkilerde membran bütünlüğünü koruma kapasitesi ve iç ortamın korunması için esastır (Cramer, 1986). Tuzluluk kaynaklı Ca^{+2} eksikliğinde, bitkilerin iyon alımı ve ozmoregülasyon dengesizdir, dolayısıyla iyon toksisitesi, osmotik stres ve beslenme bozukluğu meydana gelir (Marschner, 1986). Bitkiler, Na^+ ve Cl iyonlarını köklerden, gövde ve yapraklara taşınımını kısıtlayıp tuza tolerans gösterebilirler. Örneğin arpa, köklerindeki kısıtlama sayesinde pasif alım ile bünyeye giren Na^+ ve Cl iyonlarını yeşil aksamına iletememekte ve tuza 7 yüksek tolerans gösterebilmektedir (Poljakoff ve Mayber, 1975). Tuza iyi tolerans gösteren türlerde Na^+ ve Cl iyonlarının yeşil aksamın çeşitli organlarında ve dokularındaki dağılımı önemlidir. Tuza tolerat olan bitkilerin en bilinen özelliği, Na^+ ve Cl iyonlarının daha çok yaşlı yapraklarda tutulması ve genç yapraklara iletilmemesidir. Bitkilerin Na^+ ve Cl iyonlarını kendilerinden uzak tutmaları

sayesinde tuz toleransı sağlayabildikleri bilinmektedir (Wolf ve ark., 1991). Bu çalışma, çarliston ve acı biber fidesinin genç, orta ve yaşlı yapraklarının gelişme dönemlerinde, tuz stresi altında farklı dönemlerde makro besin elementlerinin ne düzeyde, ne şekilde alındığını, bu besin elementlerin birbirleri üzerindeki etkilerini ve dağılımlarını belirlemek üzere yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü Fizyoloji laboratuvarında yürütülmüştür. Deneme inkübatör ve normal atmosferin sağlandığı split klimalı iklim odasında, su kültüründe yürütülmüştür. Çalışmada Bursa Tohumculuk Yalova Çarliston 341 tohumu ve Bursa Tohumculuk BT İnce Kıl Acı 016 tohumu kullanılmıştır.

Tohumların çimlendirilmesi için Plastik çimlendirme kaplarına 3:1 oranda torf ve pomza karışımı doldurulup biber tohumları ekilmiş ve çeşme suyu ile sulanmıştır. Plastik kapları, 25 ° C sıcaklık %70 neme sahip iklim odasına yerleştirilmiştir, üzerleri kartonla örtülüp ıslatılan karışım kurumayacak şekilde su gereksinimine göre çeşme suyu ile sulanmıştır.

Çimlenen ve 2. gerçek yaprakları da oluşan biber fideleri, plastik küvetlerde su kültürüne alınmıştır. Bunun için Hoagland besin çözeltisi hazırlanmıştır.

1 lt Hoagland besin çözeltisi için hazırlanan stoklar: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$: 236.15 gr
 $\text{C}_6\text{H}_5\text{FeO}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$: 10 gr KNO_3 : 101.11 gr MnCl_2 : 0.36 gr KH_2PO_4 : 68.045 gr H_3BO_3 : 0.58 gr
 MgSO_4 : 123.24 gr ZnCl_2 : 0.024 gr $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 0.010 gr

Hoagland çözeltisinin hazırlanmasında çözeltinin pH'sı 5.80-5.85 arası ayarlanmıştır. Her fide için üzerinde delikler olan plastik tablolara biber fideleri sünger parçaları yardımıyla sarılıp bitki kökleri suya değecek şekilde tablolar küvetlerin içine konulmuştur. Akvaryum pompasına bağlı bulunan ince plastik hortumların besin çözeltisi içerisine daldırılması yoluyla havalandırma sağlanmıştır. Yaklaşık üç hafta sonunda tuz uygulanacak fideler için Hoagland besin çözeltisine 50 mM tuz konsantrasyonunu sağlayacak NaCl ilave edilmiştir. Ölçüm ve analizler için örnek alma işlemi, tuz uygulamasının 5. 10. ve 15. gününde yapılmıştır.

Çalışmanın 5. 10. ve 15. günün sonunda her bir bitkinin yaşlı, orta ve genç yaprağından 0.5 gr yaş yaprak tartılıp plastik kutulara konulmuştur ve üzerine 10 ml 0,1 N HNO₃ (Nitrik asit) ilave edilip kutuların kapağı kapatılmıştır. Bir hafta boyunca dolapta bekletilen örnekler, bu sürenin sonunda çalkalayıcıya bırakılıp bir gün boyunca çalkalanmıştır. 24 saat çalkalayıcıda kalan örnekler mineral element analizi için süzme aşamasından geçirilmiştir. Na, K, Ca, Mg içerikleri, Kacar (1994) 'e göre Atomik Absorbsiyon cihazında okunmuştur. Bu ölçümler sonunda, çarliston biber ve acı biberin 5. 10. ve 15. günde yaşlı, orta ve genç yapraklarındaki makro element miktarları belirlenmiştir.

Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde veriler JMP analiz paket programında varyans analizine tabi tutulmuştur. İstatistiksel olarak önemli bulunan deneme konuları %5 önem seviyesinde Duncan testi ile gruplandırılmıştır.

3. BULGULAR

Çizelge 1 'de çarliston ve acı bibere uygulanan tuz uygulamasından sonra 5.- 10.-15. günde alınan örneklerin genç, orta ve yaşlı yapraklarındaki Na miktarları verilmiştir.

Çarliston biberde; kontrol bitkilerinde genç, orta ve yaşlı yapraklar kendi aralarında zamana bağlı olarak farklılık göstermiş olup, her yaprakta stresin 15. gününe kadar Na miktarında artış olduğu görülmektedir. Genç- orta- yaşlı yaprakların 5. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında, genç- yaşlı yaprağın 10. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında, genç- orta yaprağın 15. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmüştür.

Çizelge 1. Tuz Stresi Altındaki Çarliston Ve Acı Biber Çeşitlerinin Genç, Orta Ve Yaşlı Yapraklarındaki Na (μ g/mg T.A.) Miktarları

Yaprak Yaşı	Dönem	Çarliston		Acı	
		Kontrol	Tuz	Kontrol	Tuz
Genç	5	0.866 J	1.309 I	0.893 K	1.127 J
	10	1.943 H	2.714 F	2.207 H	4.549 E
	15	3.076 D	6.044 B	2.889 G	5.824 B
Orta	5	0.854 J	1.362 I	0.850 K	1.199 J
	10	2.095 G	2.863 E	2.151 H	4.717 D
	15	3.101 D	6.131 B	3.144 F	5.989 A
Yaşlı	5	0.853 J	1.420 I	0.770 K	1.208 J
	10	1.864 H	2.912 E	1.874 I	5.036 C
	15	3.257 C	6.303 A	3.173 F	6.089 A

Her bir çeşidin her iki uygulaması ve her üç organı birlikte karşılaştırılarak, aralarındaki fark $p < 0.05$ göre büyük harfle gösterilmiştir.

Tuz uygulanan bitkilerde genç, orta ve yaşlı yapraklarda kendi aralarında zamana bağlı olarak farklılık göstermiş olup, her yaprakta stresin 15. gününe kadar Na miktarında artış olduğu görülmektedir. Genç- orta- yaşlı yaprakların 5. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında, genç- orta yaprakların 15. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında, orta- yaşlı yaprakların 10. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmüştür. Uygulamalar arası kıyaslama yapıldığında bütün zaman ve yapraklarda kontrol ve tuz uygulamalarında farklılıklar vardır ve tuz uygulanan bitkilerde kontrol bitkilerine oranla Na miktarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Tuz uygulanan bitkilerde en yüksek Na miktarı, yaşlı yaprağın 15. gününde, en düşük oran genç yaprağın 5. gününde ölçülmüştür (Çizelge 1). Acı biberde; kontrol bitkilerinde genç, orta ve yaşlı yapraklar kendi aralarında zamana bağlı olarak farklılık göstermiş olup, her yaprakta stresin 15. gününe kadar Na miktarında artış olduğu görülmektedir. Genç- orta- yaşlı yaprakların 5. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında, genç- orta yaprağın 10. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında, orta- yaşlı yaprağın 15. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmüştür. Tuz uygulanan bitkilerde genç, orta ve yaşlı yapraklar kendi aralarında zamana bağlı olarak farklılık göstermiş olup, her yaprakta stresin 15. gününe kadar Na miktarında artış olduğu görülmektedir. Genç- orta- yaşlı yaprakların 5. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında, orta- yaşlı yaprakların 5. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında, orta- yaşlı yaprakların 15. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmüştür. Uygulamalar arası kıyaslama yapıldığında bütün zaman ve yapraklarda kontrol ve

tuz uygulamalarında farklılık vardır ve tuz uygulanan bitkilerde kontrol bitkilerine oranla Na miktarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Tuz uygulanan bitkilerde en yüksek Na miktarı, yaşlı yaprağın 15. gününde, en düşük oran genç yaprağın 5. gününde ölçülmüştür (Çizelge 1). Çizelge 2 'de çarliston ve acı biberde uygulanan tuz uygulamasından sonra 5.- 10.-15. günde alınan örneklerin genç, orta ve yaşlı yapraklarındaki K miktarları verilmiştir.

Çarliston biberde; kontrol bitkilerinde genç ve orta yapraklar kendi aralarında zamana bağlı olarak farklılık göstererek, yaşlı yaprakların 5. ve 15. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmektedir. Genç ve yaşlı yapraklarda stresin ilk 10 gününde azalma görülürken sonrasında artış görülmüştür. Orta yapraklarda stresin 15. gününe kadar azalma görülmüştür. Genç ve yaşlı yaprakların 5. günlerinde, yaşlı yaprakların 15. gününde aynı istatistiki grup aralığında, genç yaprağın 10. gününde, orta yaprağın 15 gününde aynı istatistiki grup aralığında, genç yaprağın 15. gününde, orta ve yaşlı yaprağın 10. günlerinde aynı istatistiki grup aralığındadır. Tuz uygulanan bitkilerde genç yapraklar kendi aralarında zamana bağlı olarak farklılık göstererek, orta yaprakların 10. ve 15. günlerinde, yaşlı yaprakların 5. ve 15. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmektedir. Genç ve yaşlı yapraklarda stresin ilk 10 gününde azalma görülürken sonrasında artış görülmüştür. Orta yapraklarda stresin 15. gününe kadar azalma görülmüştür. Genç ve orta yaprakların 10. günlerinde, orta yaprağın 15. gününde aynı istatistiki grup aralığında, genç ve yaşlı yaprakların 15. günlerinde, orta ve yaşlı yaprağın 5. gününde aynı istatistiki grup aralığında, genç yaprağın 5. gününde ve yaşlı yaprağın 10. gününde aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmüştür. Uygulamalar arası kıyaslama yapıldığında kontrol ve tuz uygulamalarının genç yaprağının 15. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında, yaşlı yaprağının 10. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olup diğer zaman ve yapraklarda farklılık göstermiştir. Tuz uygulanan bitkilerde kontrol bitkilerine göre K oranında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Tuz uygulanan bitkilerde en yüksek K miktarı, yaşlı yaprağın 5. gününde, en düşük oran genç yaprağın 10. gününde ölçülmüştür (Çizelge 2).

Çizelge 2. Tuz Stresi Altındaki Çarliston Ve Acı Biber Çeşitlerinin Genç, Orta Ve Yaşlı Yapraklarındaki K (μ g/mg T.A.) Miktarları

Yaprak Yaşı	Dönem	Çarliston		Acı	
		Kontrol	Tuz	Kontrol	Tuz
Genç	5	4.597 A	3.559 F-H	3.182 F G	3.134 F-H
	10	3.424 H	3.039 I	4.088 C	3.298 E F
	15	3.847 D E	4.016 B-D	7.815 A	2.132 I J
Orta	5	4.187 B	3.859 C-E	3.261 E-G	3.029 G H
	10	3.789 D-F	3.129 I	3.516 D E	3.280 E-G
	15	3.484 G H	3.118 I	6.804 B	1.839 K
Yaşlı	5	4.528 A	4.114 B C	3.267 E-G	2.872 H
	10	3.698 E-G	3.480 G H	3.586 D	3.357 D-F
	15	4.521 A	3.917 C-E	2.358 I	2.079 J K

Her bir çeşidin her iki uygulaması ve her üç organı birlikte karşılaştırılarak, aralarındaki fark $p < 0.05$ göre büyük harfle gösterilmiştir.

Acı biberde; kontrol bitkilerinde genç, orta ve yaşlı yapraklar kendi aralarında zamana bağlı olarak farklılık göstermektedir. Genç ve orta yapraklarda stresin 15. gününe kadar artma görülüp, yaşlı yapraklarda stresin ilk 10 gününde artış görülürken sonrasında azalma görülmüştür. Genç, orta ve yaşlı yaprağın 5. günlerinde, orta ve yaşlı yaprağın 10. günlerinde

aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmüştür. Tuz uygulanan bitkilerde yaşlı yapraklar kendi aralarında zamana bağlı olarak farklılık göstererek, genç yaprakların 5. ve 10. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında, orta yaprakların 5. ve 10. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmektedir. Genç, orta, yaşlı yapraklarda stresin 15. günlerinde azalma görülmüştür. Uygulamalar arası kıyaslama yapıldığında kontrol ve tuz uygulamalarının genç ve orta yaprağının 5. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında, orta ve yaşlı yaprağının 10. günlerinde aynı istatistiki grup aralığındadır ve diğer zaman ve yapraklarda farklılıklar vardır. Tuz uygulanan bitkilerde kontrol bitkilerine oranla K miktarında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Tuz uygulanan bitkilerde en yüksek K miktarı, yaşlı yaprağın 10. gününde, en düşük oran orta yaprağın 15. gününde ölçülmüştür (Çizelge 2).

Çizelge 3’de çarliston ve acı biber uygulanan tuz uygulamasından sonra 5.- 10.-15. günde alınan örneklerin genç, orta ve yaşlı yapraklarındaki Ca miktarları verilmiştir.

Çizelge 3. Tuz Stresi Altındaki Çarliston Ve Acı Biber Çeşitlerinin Genç, Orta Ve Yaşlı Yapraklarındaki Ca (μ g/mg T.A.) Miktarları

Yaprak Yaşı	Dönem	Çarliston		Acı	
		Kontrol	Tuz	Kontrol	Tuz
Genç	5	5.875 H I	4.885 J	6.635 J K	5.866 L
	10	6.351 F G	6.239 F-H	10.209 B	9.523 D E
	15	8.941 B	8.068 C	14.552 A	8.069 H I
Orta	5	6.136 G H	5.729 I	6.189 K L	6.049 L
	10	6.952 D E	6.294 F G	8.413 G H	7.997 H I
	15	9.007 B	7.089 D	10.252 B	7.498 I
Yaşlı	5	6.571 E F	6.352 F G	6.785 J	6.421 J-L
	10	7.058 D	6.578 E F	9.130 E F	7.954 H I
	15	9.970 A	9.304 B	9.800 C D	8.843 F G

Her bir çeşidin her iki uygulaması ve her üç organı birlikte karşılaştırılarak, aralarındaki fark $p < 0.05$ göre büyük harfle gösterilmiştir.

Çarliston biberde; kontrol bitkilerinde genç, orta ve yaşlı yapraklar kendi aralarında zamana bağlı olarak farklılık göstermiş olup, her yaprakta stresin 15. gününe kadar Ca miktarında artış olduğu görülmektedir. Genç ve yaşlı yaprakların 5. ve 10. günlerinde, yaşlı yaprakların 5. gününde aynı istatistiki grup aralığında, genç yaprağın 15. gününde, orta yaprağın 15 gününde aynı istatistiki grup aralığındadır. Tuz uygulanan bitkilerde genç ve orta yapraklar kendi aralarında zamana bağlı olarak farklılık göstererek, yaşlı yaprakların 5. ve 10. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmektedir ve diğer yaprak ve günlerde 15. güne kadar Ca miktarında artış olduğu görülmektedir. Genç, orta ve yaşlı yaprakların 10. günlerinde, yaşlı yaprağın 5. gününde aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmüştür. Uygulamalar arası kıyaslama yapıldığında kontrol ve tuz uygulamalarının genç yaprağının 10. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında, yaşlı yaprağının 5. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olup diğer zaman ve yapraklarda farklılık göstermiştir. Tuz uygulanan bitkilerde kontrol bitkilerine göre Ca oranında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Tuz uygulanan bitkilerde en yüksek Ca miktarı, yaşlı yaprağın 15. gününde, en düşük oran genç yaprağın 5. gününde ölçülmüştür (Çizelge 3).

Acı biberde; kontrol bitkilerinde genç, orta ve yaşlı yapraklar kendi aralarında zamana bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bütün yapraklarda stresin 15. gününe kadar artış görülmüştür. Genç, orta ve yaşlı yaprağın 5. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmüştür. Tuz uygulanan bitkilerde genç ve yaşlı yapraklar kendi aralarında zamana bağlı olarak farklılık göstererek, orta yaprakların 10. ve 15. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmektedir. Genç ve orta yapraklarda stresin 10. gününe kadar artış sonrasında düşüş olduğu, yaşlı yapraklarda 15. güne kadar artış olduğu görülmektedir. Genç, orta ve yaşlı yaprakların 5. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında, orta ve yaşlı yaprakların 10. günlerinde, genç yaprağın 15. gününde, orta yaprağın 15. gününde aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmüştür. Uygulamalar arası kıyaslama yapıldığında kontrol ve tuz uygulamalarının orta yaprağının 5. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında, orta yaprağının 10. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında, yaşlı yaprağının 5. günlerinde aynı istatistiki grup aralığındadır ve diğer zaman ve yapraklarda farklılıklar vardır. Tuz uygulanan bitkilerde kontrol bitkilerine oranla Ca miktarında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Tuz uygulanan bitkilerde en yüksek Ca miktarı, genç yaprağın 10. gününde, en düşük oran genç yaprağın 5. gününde ölçülmüştür (Çizelge 3).

Çizelge 4’de çarliston ve acı bibere uygulanan tuz uygulamasından sonra 5.- 10.-15. günde alınan örneklerin genç, orta ve yaşlı yapraklarındaki Mg miktarları verilmiştir.

Çizelge 4. Tuz Stresi Altındaki Çarliston Ve Acı Biber Çeşitlerinin Genç, Orta Ve Yaşlı Yapraklarındaki Mg (μ g/mg T.A) Miktarları

Yaprak Yaşı	Dönem	Çarliston		Acı	
		Kontrol	Tuz	Kontrol	Tuz
Genç	5	0.548 E F	0.509 F-H	0.510 E-G	0.483 F G
	10	0.557 E F	0.455 H	0.856 C	0.668 D
	15	0.782 A B	0.703 C D	0.898 B	0.516 D-G
Orta	5	0.501 F-H	0.484 G H	0.499 E-G	0.479 F G
	10	0.549 E F	0.470 H	0.627 D-F	0.640 D E
	15	0.837 A	0.747 B C	0.911 A	0.480 F G
Yaşlı	5	0.645 D	0.576 E	0.515 D-G	0.449 G
	10	0.544 E-G	0.460 H	0.589 D-G	0.548 D-G
	15	0.819 A	0.732 B C	0.610 D-F	0.506 E-G

Her bir çeşidin her iki uygulaması ve her üç organı birlikte karşılaştırılarak, aralarındaki fark $p < 0.05$ göre büyük harfle gösterilmiştir.

Çarliston biberde; kontrol bitkilerinde yaşlı yapraklar kendi aralarında zamana bağlı olarak farklılık göstererek, genç ve orta yaprakların 5. ve 10. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olup, 15. günlerde artış görülmektedir ve yaşlı yapraklarda ilk 10 günde Mg miktarında azalış, 15. günde artış olmuştur. Genç ve orta yaprakların 5. ve 10. günlerinde, yaşlı yaprakların 10. gününde aynı istatistiki grup aralığında, genç ve orta yaprağın 15. günlerinde, yaşlı yaprağın 15 gününde aynı istatistiki grup aralığındadır. Tuz uygulanan bitkilerde yaşlı yapraklar kendi aralarında zamana bağlı olarak farklılık göstererek, genç ve orta yaprakların 5. ve 10. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olup, 15. günlerde artış görülmektedir ve yaşlı yapraklarda ilk 10 günde Mg miktarında azalış, 15. günde artış olduğu görülmektedir. Genç ve orta yaprakların 5. ve 10. günlerinde, yaşlı yaprakların 10. gününde aynı istatistiki grup aralığında, genç ve orta

yaprağın 15. günlerinde, yaşlı yaprağın 15 gününde aynı istatistiki grup aralığındadır. Uygulamalar arası kıyaslama yapıldığında kontrol ve tuz uygulamalarının genç ve orta yaprağının 5. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olup diğer zaman ve yapraklarda farklılık göstermiştir. Tuz uygulanan bitkilerde kontrol bitkilerine göre Mg oranında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Tuz uygulanan bitkilerde en yüksek Mg miktarı, orta yaprağın 15. gününde, en düşük oran genç yaprağın 10. gününde ölçülmüştür (Çizelge 4).

Acı biberde; kontrol bitkilerinde genç yapraklar kendi aralarında zamana bağlı olarak farklılık gösterip, stresin 15. gününe kadar artış durumundadır. Orta yaprağın 5. ve 10. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olup 15. günde artmıştır, yaşlı yaprakta ise bütün dönemlerde de aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmüştür. Genç, orta ve yaşlı yaprağın 5. günlerinde, orta ve yaşlı yaprağın 10. günlerinde, yaşlı yaprağın 15. gününde aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmüştür. Tuz uygulanan bitkilerin yapraklarında zamana bağlı olarak farklılık oluşmamıştır. Genç, orta ve yaşlı yaprakların her döneminde bitkiler aynı istatistiki grup aralığında çıkmıştır. Uygulamalar arası kıyaslama yapıldığında kontrol ve tuz uygulamalarının genç, orta ve yaşlı yaprağının 5. günlerinde, orta ve yaşlı yaprağın 10. günlerinde, yaşlı yaprağın 15. günlerinde aynı istatistiki grup aralığında olduğu görülmektedir. Tuz uygulanan bitkilerde kontrol bitkilerine oranla Mg miktarında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Tuz uygulanan bitkilerde en yüksek Mg miktarı, genç yaprağın 10. gününde, en düşük oran yaşlı yaprağın 5. gününde ölçülmüştür (Çizelge 4).

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmamızın sonunda iyon hareketlerine bakıldığında, Na miktarı; hem çarliston biber çeşidinde hem de acı biber çeşidinde, kontrol bitkilerine oranla tuz uygulanan bitkilerde daha fazla çıkmıştır. K miktarında; yalnızca çarliston biber çeşidinin genç yaprağının 15. gününde tuz uygulanan bitkilerde kontrole göre az miktarda artma görülmüştür. Diğer tüm dönem ve yapraklarda her iki çeşitte de tuz uygulanan bitkilerde kontrol bitkilerine oranla K miktarında azalma görülmüştür. Ca miktarında; her iki çeşitinde her döneminde, genç- orta- yaşlı yapraklarında tuz uygulanan bitkilerde kontrole oranla azalma meydana gelmiştir. Yapılan diğer çalışmalarda da tuz stresi altındaki bitkilerin yaprak ve köklerinde Na miktarı artarken, Ca ve K miktarları azalmaktadır (Ghoulam ve ark., 2002; Essa, 2002; Yakıt ve Tuna, 2006). Bunun yanı sıra bitki yapraklarında Na^+ ilerleyişine engel olan ve fazla miktarda K^+ , Ca^{+2} ileten genotiplerin tuzun verdiği zararlara karşı daha dayanıklılık gösterdiği Yaşar ve ark. (2006; 2007c) yaptığı çalışmalarda ortaya konmuştur. Mg miktarında; sadece acı biber çeşidinin orta yaprağının 10. gününde tuz uygulanan bitkilerde kontrole göre artış olduğu görülmüştür. Diğer tüm dönem ve yapraklarda her iki çeşitte de tuz uygulanan bitkilerde kontrole oranla Mg miktarında azalma olduğu görülmüştür.

Yaptığımız çalışmada her iki çeşitte, tuz uygulanan bitkilerde hangi yaprakta daha fazla ve hangi yaprakta daha az iyon biriktirdiğine bakılacak olursa; her iki çeşitte de en yüksek Na birikiminin; yaşlı yapraklarda olduğu, en az Na birikiminin; genç yapraklarda olduğu görülmektedir. En yüksek K birikiminin her iki çeşitte; yaşlı yapraklarda, en az K birikimi çarliston biber çeşitinde; genç yaprakta, acı biber çeşitinde; orta yaprakta. En yüksek Ca

birikiminin çarliston biber çeşitinde; yaşlı yapraklarda, acı biber çeşitinde; genç yaprakta, en az Ca birikiminin her iki çeşitte de genç yapraklarda olduğu görülmektedir. En yüksek Mg birikiminin çarliston biber çeşitinde; orta yapraklarda, acı biber çeşitinde; genç yaprakta, en az Mg birikiminin çarliston biber çeşitinde; genç yapraklarda, acı biber çeşitinde; yaşlı yaprakta olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak tuz stresinin, bitkilerde morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal alanlarda birçok farklılığa sebebiyet verdiğini görmekteyiz. Yaptığımız çalışmada bitkileri tuz stresine maruz bırakarak, tuz stresinin bitkinin büyüme ve gelişmesini ve dolayısıyla verim ve kalitesinin düşmesine sebep olan iyon dengesizliği meydana geldiği görülmektedir. Na miktarının artmasıyla Ca, K, Mg iyon alımında düşüş görülürken, bitkilerin tuz stresindeyken iyonları daha fazla yaşlı yapraklarda biriktiği görülmektedir.

Bu çalışmalara bakılarak bitkilerin farklı gelişme zamanlarında tolerans stratejilerinin de farklılık gösterebildiği ve bu stratejilerin kıyaslanmasıyla mekanizmaların belirlenmesi önemli bir yer alır. Böylelikle tuz stresine karşı tolerans gösteren bitki türleri belirlenir, yeni çeşitlerin geliştirilmesi ve tuza dayanıklı gen çeşitleri korunabilir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2020-8894 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Bohra, J., Döfling, K. Plant and Soil, 152, 299. 1993.
- Borsani, O., Valpuesta V., Botella, M. Developing salt tolerant plants in a new century: a molecular biology approach. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 73: 101-115. 2003.
- Cramer, G., Lauchli, A., Epstein, E. Effects of NaCl and CaCl² on ion activities in complex nutrient solution and root growth of cotton. Plant Physiology, 81(3): 792-797, 1986.
- Erdal, D., Türkmen Ö., Yıldız, M. Tuz stresi altında yetiştirilen hıyar (*Cucumis sativus L.*) fidelerinin gelişimi ve kimi besin maddeleri içeriğindeki değişimler üzerine potasyumlu gübrelemenin etkisi. Yüzüncü Yıl Ün., Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 10 (1): 25-29, 2000.
- Essa, T.A. Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (*Glycine max L. Merrill*) cultivars. Journal of Agronomy and Crop Science.,188, 2:86-93, 2002.
- Ghoulam, C., Foursy A., Fares, K. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. Environmental and Experimental Botany,47, 39-50, 2002.
- Kacar, B. Potasyumun bitkilerde işlevleri ve kalite üzerine etkileri. Ege Üniversitesi'nin 50. Kuruluş Yılı Etkinlikleri, Çalıştay, 3-4 Ekim, Eskişehir, s: 20-31, 2005.
- Kuşvuran Ş., Yaşar F., Abak, K., Ellialtıoğlu, Ş. Tuz stresi altında yetiştirilen tuza toleran ve duyarlı *Cucumis sp.*' nin bazı genotiplerinde lipid peroksidasyonu, klorofil ve iyon miktarlarında meydana gelen değişimler, J. Agric. Sci, 18 (1): 13- 20. 2008.

- Marschner, H. Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press, London. 1986.
- Mugdhal, V., Madaan N., Mudgal, A. Biochemical mechanisms of salt tolerance in plants: a review. International Journal of Botany, 6 (2):136-143, 2010.
- Parvaiz, A., Satyawati, S. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants-a Review. Plant Soil Environment, 54 (3): 89-99. 2008
- Poljakoff- Mayber, A., Gale J. (Eds), Plant in Saline Environments. Springer- Verlag, s. 213, Berlin. 1975.
- Wolf, O., Munns, R., Tonnet, M., Jeschke, W.D. The Role of the Stem in the Partitioning of Na⁺ and K⁺ in SaltTreated Barley. J. of Exp. Bot., 42, 278-282, 1991.
- Yakıt S., Tuna, A.L. Tuz stresi altındaki mısır bitkisinde (*Zea mays L.*) stres parametreleri üzerine Ca, Mg ve K'nın etkileri. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 19(1), 59-67, 2006.
- Yasar F., Üzal Ö., Tüfenkçi Ş., Yıldız,K. Ion Accumulations in Different Organs of Green Bean Genotypes Grown Under Salt Stress. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 81 (4), 627-630, 2006.
- Yasar, F. Tuz Stresi Altındaki Patlıcan Genotiplerinde Bazı Antioksidant Enzim Aktivitelerinin in vitro ve in vivo Olarak incelenmesi (doktora tezi, basılmamış). Y.Y.Ü. Fen Bil. Enst., Van. 2003.
- Yasar, F. Effects of salt stres on ion and lipid peroxidation content in green beans genotypes. Asian Journal of Chemistry, 19(2): 1165-1169,2007a.
- Yaşar F., Ellialtıoğlu,Ş., Gürbüz Kılıç, Ö., Üzal, Ö. Fasulye Genotiplerinin (*Phaseolus vulgaris L.*) Artan Tuz Konsantrasyonu ve Farklı Zamanlardaki Gelişim Performansları. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12, 54-58. 2007b.
- Yaşar, F., Ellialtıoğlu, Ş., Ozpay T., Üzal, Ö. Karpuz (*Citrillus lanatus*) Genotiplerinde, Tuz Stresinden Kaynaklanan Oksidatif Zararlanmanın Zamana Göre Değişimi ve Skala İle İlişkisinin Belirlenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12, 59-67. 2007c.

ASTER (*ASTER AMELLUS* L.) 'İN MORFOLOJİK, EKOLOJİK VE KULLANIM ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Yük. Zir. Müh. Ömer ÖZTAŞ

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

E-posta: omer_30@hotmail.com.tr (Orcid ID:0000-0001-9034-5675)

Prof. Dr. Fikret YAŞAR

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü

E-posta: fyasar@yyu.edu.tr (Orcid ID:0000-0001-6598-8580)

Doç. Dr. Özlem ÜZAL

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü

E-posta: ozlemuzal@yyu.edu.tr (Orcid ID:0000-0002-1538-820X)

ÖZET

Asteraceae familyasına ait olan *Aster amellus*, Avrupa ve Asya'nın ılıman bölgelerinde yaygın olarak bulunur. Bitkinin kök, gövde, yaprak, çiçek ve tohum yapıları, çevresel adaptasyon ve hayatta kalma stratejilerinde kritik rol oynar. Kök yapısı, su ve besin maddelerini etkin şekilde toplamasını sağlarken, gövde yapısı mekanik streslere karşı dayanıklılığı artırır. Yaprak yapısı, fotosentez kapasitesini optimize eder ve su kaybını önler. Çiçek yapısı, polinatörlerle etkileşimi artırarak biyolojik çeşitliliğe katkıda bulunur. Tohum yapısı ise, rüzgarla taşınarak geniş alanlara yayılmayı kolaylaştırır. *Aster amellus*'un tıbbi ve farmakolojik uygulamaları, flavonoidler ve diğer biyoaktif bileşiklerin anti-enflamatuar, antioksidan ve anti-kanser özelliklerini vurgular. Peyzaj ve süs bitkilerinin kullanımı, estetik değer katmanın yanı sıra biyolojik çeşitliliği destekler ve doğal yaşam alanlarının korunmasına katkı sağlar. Ekonomik açıdan önemli olan bu bitkiler, ticari değerleriyle yerel kalkınmayı destekler ve istihdam yaratır. Kültürel olarak, geleneksel festivallerde önemli bir rol oynar, toplumun kültürel mirasını canlı tutar. Sürdürülebilir tarım uygulamaları, çevresel etkileri minimize ederken sağlıklı ve verimli üretim sağlar, toprak sağlığını korur ve su kaynaklarının verimli kullanımını teşvik eder. Bu bitkilerin ekonomik, kültürel ve çevresel değerleri, bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır. Güncel araştırmalar, bitkinin biyokimyasal bileşenleri ve tıbbi potansiyeli üzerine odaklanırken, gelecekteki araştırmalar genetik çeşitlilik ve ekolojik adaptasyonlar üzerine yoğunlaşabilir. Bu derleme, *Aster amellus*'un morfolojik, ekolojik ve kullanım özelliklerini kapsamlı bir şekilde incelemiş ve bitkinin biyolojik, ekonomik ve kültürel önemini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler; Aster, Çiçek, Morfoloji

1.GİRİŞ

Aster (*Aster amellus* L.), *Asteraceae* familyasının önemli üyelerinden biridir ve geniş coğrafi dağılımı, çeşitli ekolojik adaptasyonları ve çok yönlü kullanım potansiyeli ile dikkat çekmektedir. Morfolojik özellikleri bakımından, *Aster* bitkisi genellikle çok yıllık ve otsu

yapıdadır; yaprakları geniş, mızrak şeklinde ve uçları sivri olup, çiçekleri başak şeklinde ve parlak mor, mavi veya beyaz renklerde gözlemlenir (Bremer, 1996; Jankovic ve ark, 2019). Ekolojik açıdan, Aster bitkisi özellikle iyi drene olan, kireçli ve besin açısından zengin topraklarda yaygın olarak yetişir ve ılıman iklim koşullarında büyüme eğilimi gösterir (Rameau ve ark, 1989; Rodwell ve ark, 2002; Landolt ve ark, 2010). Kullanım alanlarına gelince, bu bitki türü hem geleneksel tıpta çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde kullanılmış (Achika ve ark, 2014; Rolnik ve Olas, 2021), hem de süs bitkisi olarak peyzaj düzenlemelerinde geniş yer bulmuştur (Beresford-Kroeger, 2004; Summers ve Brittenham, 2024).

2. ASTER AMELLUS'UN BOTANİK SINIFLANDIRILMASI

Aster amellus, *Asteraceae* (Compositae) familyasına ait çok yıllık bir bitkidir ve yaygın olarak "Michaelmas Daisy" olarak bilinir. Bu bitkinin botanik sınıflandırması şu şekildedir:

Alem: Plantae

Bölüm: Magnoliophyta

Sınıf: Magnoliopsida

Takım: Asterales

Familya: Asteraceae

Cins: Aster

Tür: *Aster amellus* L.

Aster amellus, morfolojik ve ekolojik adaptasyonları sayesinde özellikle Avrupa ve Asya'nın ılıman bölgelerinde yaygın olarak bulunur. Bu bitki, süs bitkisi olarak büyük bir ekonomik değere sahip olmasının yanı sıra, tıbbi uygulamalarda da kullanım potansiyeli taşır (Jones, 1980; Achika ve ark, 2014, Rolnik ve Olas, 2021; Summers ve Brittenham, 2024).

3. TARİHSEL ARKA PLAN VE KÖKENİ

Aster amellus'un kökeni, eski çağlardan bu yana doğal bitki örtüsünde önemli bir yer edinmiştir. Özellikle Antik Yunan ve Roma kültürlerinde, Aster türleri hem tıbbi amaçlarla hem de süs bitkisi olarak yoğun bir şekilde kullanılmıştır (Münzbergová ve ark.,2011). Aster ismi, Yunanca'da "yıldız" anlamına gelen "Aster" kelimesinden türemiştir; bu ad, bitkinin çiçeklerinin yıldız benzeri yapısından esinlenerek verilmiştir (Jones ve ark., 1981; Nesom ve ark.,1994; Xiang, 1996). Tarihsel süreç boyunca *Aster amellus*, farklı kültürel ve coğrafi bölgelerde çeşitli kullanım alanları bulmuş, bu sayede botanik ve tıbbi literatürde yer edinmiştir (Achika ,2014; Rolnik ve Olas 2021).

4. MORFOLOJİK ÖZELLİKLER

4.1. Kök Yapısı

Bu bitki, morfolojik yapısı itibarıyla güçlü bir kök sistemine sahiptir ve gövdesi, dik ve dallanmış bir yapıya sahiptir. Bu özellikler, *Aster amellus*'u ekolojik restorasyon projelerinde değerli bir tür haline getirir ve sürdürülebilir çevre yönetimi stratejilerinde kullanım potansiyelini artırır.

Aster *amellus*'un hayatta kalma ve büyüme stratejisinin temel taşlarından biri olan kök yapısı, bitkinin adaptasyon yeteneğini ve ekolojik başarısını büyük ölçüde belirler. Bitki, genellikle kısa rizomlar (yer altı gövdesi) ve sağlam ana kökler geliştirir. Rizomlar, bitkinin yayılmasına ve toprak altındaki besin maddelerini etkin bir şekilde depolamasına olanak tanıyan yatay kök yapılarıdır. Bu rizomlar sayesinde, bitki hem horizontal olarak yayılabilir hem de yeni bireyler oluşturabilir, bu da özellikle stresli çevre koşullarında popülasyonun sürdürülebilirliğini artırır (Müller-Stoll, 1935; Troll, 1964; Münzbergová ve ark., 2011).

Aster *amellus*'un kökleri, besin maddeleri ve suyun toplanmasına olanak tanırken, aynı zamanda bitkinin dayanıklılığını artıran bir özellik gösterir. Bu kök yapısı, bitkinin kurak iklimlerde bile hayatta kalmasını sağlar. Derinlemesine nüfuz eden ana kökler, derin toprak katmanlarından su ve besin maddelerini çekerek, bitkinin su stresine ve besin eksikliklerine karşı direnç göstermesine yardımcı olur. Rizomlar, bitkinin enerjiyi depolaması ve zorlayıcı koşullarda yeniden büyümesini sağlayan rezervuarlar olarak işlev görür (Münzbergová ve ark., 2011).

Köklerin derinliği ve yayılma oranı, özellikle taşlık ve kısmi kuru ortamlarda bitkinin optimal gelişimini sağlar. Aster *amellus*, bu özellikleri sayesinde, zorlu çevre koşullarına adapte olabilen ve farklı habitatlarda yayılım gösterebilen bir bitkidir. Kök yapısının bu esnekliği, bitkinin hem doğal ortamlarında hem de tarımsal ve peyzaj uygulamalarında başarılı bir şekilde kullanılabilmesini sağlar (Landolt ve ark., 2010; Münzbergová ve ark., 2011; Rodica Bercu ve Broasca, 2012)

4.2. Gövde Yapısı

Aster *amellus*'un gövde yapısı, bitkinin genel morfolojik yapısında önemli bir rol oynar ve bitkinin çevresel koşullara uyum sağlamasında kritik bir bileşendir. Bitkinin gövdesi genellikle dik ve dayanıklıdır, boyu 30-90 cm arasında değişebilir. Bu gövde yapısı, bitkiye stabilite ve destek sağlayarak, rüzgâr ve diğer mekanik stres faktörlerine karşı dirençli olmasını sağlar (Münzbergová ve ark., 2011).

Aster *amellus*'un gövdesi, tüylü ve hafifçe sert kıllarla kaplıdır. Bu tüyler ve kıllar, bitkinin su kaybını azaltarak kurak koşullarda hayatta kalma şansını artırır. Aynı zamanda, bu yapı çevresel etmenlere karşı fiziksel bir koruma sağlar, bitkiyi zararlı organizmaların ve aşırı güneş ışığının olumsuz etkilerinden korur. Gövde, yuvarlak ve pürüzsüzdür, ancak bazen ince damarlarla belirginleşebilir. Bu damarlar, bitki dokuları arasında su ve besin maddelerinin taşınmasını kolaylaştıran önemli yapısal bileşenlerdir (Münzbergová ve ark., 2011; Rodica Bercu ve Broasca, 2012).

Gövdenin iç yapısı, odunsu dokuların gelişimiyle güçlendirilmiştir. Bu odunsu dokular, gövdeye mekanik dayanıklılık kazandırır ve bitkinin dik durmasını sağlar. Genellikle yeşil renkte olan gövde, büyüdükçe kahverengimsi bir renk alabilir; bu değişim, bitkinin yaşlandıkça odunsulaşan dokularının bir göstergesidir. Ayrıca, bitkinin gövdesi, özellikle uzun süreli güneş ışığına ve rüzgarlara maruz kaldığında sertleşir. Bu sertleşme, bitkinin dış etkenlere karşı dayanıklılığını artırarak, ekstrem koşullarda bile bitkinin büyümesini sürdürebilmesini sağlar (Münzbergová ve ark., 2011; Rodica Bercu ve Broasca, 2012).

4.3. Yaprak Yapısı

Aster *amellus* bitkisinin yaprak yapısı, bitkinin morfolojik özelliklerinin en belirgin unsurlarından biridir ve bitkinin çevresel uyum yeteneğinde önemli bir rol oynar. Yapraklar, genellikle uzun ve mızrak şeklindedir. 5-12 cm uzunluğunda ve 2-5 cm genişliğindedir. Alt yüzeyleri genellikle gri-yeşil renklerde olup, üst yüzeyde ise daha parlak ve düz bir yapıya sahiptir. Bu farklılık, yaprakların hem estetik değerini artırır hem de fotosentez kapasitesini optimize eder. Yaprakları oval şekilli olup, kenarları düzensiz dişlidir; bu yapraklar, bitkinin fotosentez verimliliğini artırırken aynı zamanda su kaybını minimize etmeye yardımcı olur. Yaprak kenarları ince dişlidir, ancak bu dişler çok belirgin değildir. Yaprakların düzenli bir şekilde saplara yerleşmesi, bitkinin fotosentez kapasitesini artıracak şekilde üst üste binmeden dağılmasını sağlar. Bu düzenleme, yaprakların güneş ışığını en etkin şekilde toplayabilmesi için optimum açıyı sağlar ve bu da bitkinin büyüme hızını ve genel sağlık durumunu doğrudan etkiler. Yapraklar, su kaybını minimize etmek için suyun buharlaşmasını azaltan mikroskobik tüyler içerir. Bu tüyler, suyun yaprak yüzeyinde daha uzun süre kalmasını sağlayarak bitkinin kurak koşullara adaptasyonunu destekler (Münzbergová ve ark., 2011; Rodica Bercu ve Broasca, 2012).

Aster *amellus*'un geniş yaprakları, bitkinin hem su yönetimini optimize eder hem de nemli ortamlarda hayatta kalmasına yardımcı olur. Yaprakların bu adaptif özellikleri, bitkinin farklı iklim koşullarına uyum sağlamasını ve geniş bir coğrafi alanda yayılım göstermesini sağlar. Ayrıca, yaprakların alt ve üst yüzeylerindeki farklı renk ve dokular, bitkinin ışık absorpsiyonunu ve gaz değişimini düzenleyerek, fotosentez verimliliğini artırır (Münzbergová ve ark., 2011; Rodica Bercu ve Broasca, 2012).

4.4. Çiçek Yapısı

Aster *amellus* bitkisinin çiçek yapısı, bitkinin en dikkat çekici özelliklerinden biridir. Çiçekler, başak şeklinde bir araya gelir ve genellikle mor veya mavi tonlarında, nadiren beyaz renkte olabilir. Bu çiçek başları, ortada sarımsı disk çiçekleri ve etrafında dilsli (ligulat) çiçeklerden oluşan yoğun bir yapıya sahiptir. Çiçekler genellikle 5-7 cm çapında olup, tek tek başaklar halinde toplanmışlardır. Bu düzenleme, bitkinin polinatörler tarafından kolayca fark edilmesini sağlar ve polinasyon sürecini etkin kılar. Aster *amellus*'un çiçekleri, polinatörlerin ilgisini çekmek için parlak renkler ve hoş bir kokuya sahiptir. Bu özellikler, bitkinin arılar, kelebekler ve diğer böcekler tarafından ziyaret edilme olasılığını artırır. Çiçeklerin parlak mor ve mavi tonları, özellikle arıların ve kelebeklerin dikkatini çekerken, yayılan hoş koku, polinatörleri bitkiye çeker. Çiçeklerin açma dönemi, genellikle yaz sonlarından sonbahar başlarına kadar sürer. Bu uzun çiçeklenme dönemi, Aster *amellus*'u diğer bitkilerden ayıran önemli bir özelliktir ve bitkinin ekosistem içindeki rolünü pekiştirir (Münzbergová ve ark., 2011).

Aster *amellus*'un çiçeklenme süresi boyunca, bitki başta arılar ve kelebekler olmak üzere birçok polinatörü çeker. Bu polinatörler, bitkinin tozlaşma sürecinde kritik bir rol oynar ve bitkinin üreme başarısını artırır. Ayrıca, bu polinatör etkileşimleri, bitkinin bulunduğu ekosistemdeki biyolojik çeşitliliği artırarak, ekosistemin genel sağlığına katkıda bulunur. Çiçeklerin düzenli ve yoğun yapısı, bitkinin tohum üretiminde ve tohumlarının yayılmasında da önemli bir rol oynar. Bu yapısal özellikler, bitkinin hayatta kalma ve yayılma yeteneğini güçlendirir (Chatterji, 1952; Münzbergová ve ark., 2011; Krushnaiah ve ark., 2018).

4.5. Tohum Yapısı

Aster *amellus*'un tohum yapısı, bitkinin üreme stratejilerinin temel unsurlarından biridir ve bitkinin hayatta kalma ve yayılma yeteneğinde önemli rol oynar. Tohumlar, genellikle 2-3 mm uzunluğunda olup, hafifçe tüylü bir dış yüzeye sahiptir. Bu tüylü yapı, tohumların rüzgarla taşınmasını kolaylaştırarak geniş alanlara yayılmasını sağlar. Her tohum, küçük bir kuyruk şeklinde bulunan beyaz, tüylü bir "pappus" (taç tüyleri) içerir. Bu tüyler, tohumların daha uzak mesafelere yayılmasını sağlayarak türün hayatta kalma şansını artırır. Tohumlar, çiçeklenme dönemi sonrasında olgunlaşır ve genellikle sonbaharda dökülür. Bu özellik, Aster *amellus*'un farklı çevre koşullarında kolayca yayılabilmesini ve yeni alanlarda koloniler oluşturabilmesini sağlar. Tohumların geniş toprak alanlarına yayılması, yeni bitkilerin gelişmesine ve popülasyonun genişlemesine katkıda bulunur. Tohumların rüzgarla etkili bir şekilde taşınabilmesi, bitkinin çeşitli ekosistemlerde varlık göstermesini ve genetik çeşitliliğini korumasını sağlar (Punt ve Hoen,2009; Münzbergová ve ark., 2011).

5. GENETİK ÇEŞİTLİLİK VE VARYETELER

Aster *amellus* türü, genetik çeşitlilik bakımından zengin olup, farklı coğrafi bölgelerde çeşitli varyeteler ve alt türler geliştirmiştir. Bu genetik çeşitlilik, bitkinin değişen ekolojik koşullara uyum sağlama kabiliyetini büyük ölçüde artırır. Genetik varyasyonlar, bitkinin hem morfolojik hem de fizyolojik özelliklerinde kendini gösterir; örneğin, yaprak yapısı, çiçek rengi ve çiçeklenme zamanı gibi özellikler, çevresel faktörlere bağlı olarak önemli farklılıklar gösterebilir. Aster *amellus*'un genetik çeşitliliği, popülasyonlar arasındaki gen akışı ve doğal seleksiyon süreçleri tarafından yönlendirilir. Bu durum, bitkinin farklı habitatlarda hayatta kalmasını ve yayılmasını destekler. Özellikle, kuraklık, toprak tipi ve rakım gibi çevresel stres faktörlerine karşı direnç geliştirerek, geniş bir coğrafi yayılım alanına sahip olmasını sağlar. Aster *amellus*'un çeşitli varyeteleri ve alt türleri, adaptif radyasyon yoluyla farklı ekolojik nişlerde kendine yer bulmuş ve bu süreçler, bitkinin evrimsel başarısını pekiştirmiştir (Mayor ,2008; Raman ve ark., 2023).

6. EKOLOJİK GEREKSİNİMLER

6.1. Habitat ve Yayılım

Aster *amellus*, geniş bir coğrafi yayılıma sahip olup, özellikle Avrupa ve Asya'nın ılıman bölgelerinde doğal olarak bulunur. Bu bitki türü, genellikle orman açıklıkları, çayırliklar ve yol kenarlarında yayılım gösterir; bu alanlarda bulunan mikro habitat çeşitliliği, Aster *amellus*'un ekolojik esnekliğini ve adaptif potansiyelini ortaya koyar. Doğal habitatında, iyi drene edilmiş toprakları tercih eder ve tam güneş alan ya da yarı gölge alanlarda optimal büyüme gösterir. Bu özellikleri sayesinde, geniş bir habitat yelpazesinde hayatta kalabilir ve başarılı bir şekilde yayılabilir (Bremer ve ark.,1996; Münzbergová ve ark., 2011; Rodica Bercu ve Broască, 2012; Jankovic ve ark., 2019).

Bitkinin yayılımı hem tohumla hem de rizomlarla gerçekleşir. Tohumlar, papus adı verilen tüylü yapıları sayesinde rüzgarla geniş alanlara yayılabilirken, rizomlar, bitkinin vegetatif üremesini sağlayarak lokal popülasyonların büyümesine katkıda bulunur. Aster *amellus*'un habitat değişikliklerine karşı oldukça adaptif bir bitki olduğu, farklı ekosistemlerde başarıyla yer

bulabilmesinden anlaşılmaktadır. Bu adaptif yetenek, bitkinin hem doğal hem de insan etkisiyle değişen çevre koşullarında hayatta kalmasını sağlar (Punt ve Hoen,2009; Münzbergová ve ark., 2011).

Aster amellus'un ekolojik önemi, sadece kendi habitatında değil, aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin korunmasında ve ekosistem hizmetlerinin devamlılığında da büyük rol oynar. Bu bitki, tozlayıcılar için önemli bir kaynak olup, yerel flora ve fauna arasındaki etkileşimlerin düzenlenmesinde kritik bir rol oynar (Punt ve Hoen,2009; Münzbergová ve ark., 2011).

6.2. İklim ve Toprak İstekleri

Aster amellus, optimal büyüme ve gelişme için ılıman iklim koşullarını tercih eder. Bu bitki, genellikle 6-8 pH aralığındaki topraklarda en iyi şekilde büyür ve bu pH aralığı, toprakta bulunan besin maddelerinin bitki tarafından kolayca alınabilmesini sağlar. *Aster amellus*, soğuk kış koşullarına karşı dayanıklıdır ve don olaylarına karşı direnç gösterir; bu özellikleri, bitkinin geniş bir coğrafi alanda varlık gösterebilmesine olanak tanır (Chandanshive ve ark., 2018).

Toprak yapısı açısından, iyi drene edilmiş ve humusça zengin topraklar, *Aster amellus*'un optimum büyüme koşullarını sağlar. Bu tür topraklar, bitkinin köklerinin hava almasını ve suyun etkili bir şekilde drene edilmesini mümkün kılar. Bitki, aynı zamanda kuraklık dönemlerinde sulama gerektirebilir; ancak genellikle orta derecede su gereksinimi vardır ve bu durum, bitkinin kuraklık stresine karşı adaptasyon yeteneğini gösterir. *Aster amellus*'un iyi gelişebilmesi için, düzenli sulama ve uygun toprak koşullarının sağlanması önemlidir (Rodwell ve ark., 2002; Landolt ve ark., 2010; Chandanshive ve ark.,2018).

6.3. Büyüme Koşulları ve Adaptasyon Mekanizmaları

Aster amellus, çevresel stres faktörlerine karşı çeşitli adaptasyon mekanizmaları geliştirmiştir. Bu mekanizmalar, bitkinin hayatta kalma yeteneğini ve yayılım başarısını büyük ölçüde artırır. Örneğin, rizomlar aracılığıyla vegetatif üreme, bitkinin zorlu koşullarda bile hayatta kalmasını ve popülasyonunu sürdürmesini sağlar. Rizomlar, yer altında yatay olarak büyüyen kök benzeri yapılar olup, yeni bitkilerin oluşumunu teşvik eder ve bitkinin geniş alanlara yayılmasına olanak tanır (Baskin ve Baskin, 2023).

Aster amellus'un geniş ve derin kök sistemi, su ve besin maddelerini daha etkin bir şekilde almasını sağlar. Bu özellik, bitkinin özellikle kurak dönemlerde suya erişimini kolaylaştırır ve besin maddelerinin daha derin toprak katmanlarından alınabilmesine olanak tanır. Bitkinin yaprakları, su kaybını minimize edecek şekilde düzenlenmiştir; yaprak yüzeyinde bulunan tüyler ve kalın kütikula tabakası, transpirasyonu azaltarak su kaybını önler ve bitkiye kuraklık dönemlerinde avantaj sağlar. Ayrıca, *Aster amellus*'un yapraklarının düzensiz dişli kenarları, suyun yaprak yüzeyinde daha uzun süre kalmasını sağlayarak bitkinin su yönetimini optimize eder (Landolt ve ark., 2010; Münzbergová ve ark., 2011; Rodica Bercu ve Broască, 2012).

7. KULLANIM ALANLARI

7.1. Tıbbi ve Farmakolojik Uygulamalar

Aster *amellus*, tarih boyunca geleneksel tıpta çeşitli hastalıkların tedavisinde yaygın olarak kullanılmış bir bitkidir. Bu bitki, içerdiği biyoaktif bileşikler sayesinde önemli farmakolojik özelliklere sahiptir. Özellikle flavonoidler, tanenler ve saponinler gibi fitokimyasallar, Aster *amellus*'un anti-enflamatuar ve antioksidan etkilerini destekler. Flavonoidler, serbest radikalleri nötralize ederek hücresel hasarı önlerken, tanenler inflamasyonun azaltılmasında etkili olur ve saponinler ise bağışıklık sisteminin güçlendirilmesine katkı sağlar (Sharma ve ark.,2022).

Araştırmalar, Aster *amellus* özütünün çeşitli sağlık sorunlarına karşı etkili olabileceğini göstermektedir. Örneğin, gastrointestinal sorunların tedavisinde bu bitkinin anti-enflamatuar özelliklerinden yararlandığı belirtilmiştir. Ayrıca, cilt hastalıkları ve yaraların iyileşmesinde de kullanımı mevcuttur; bu durum, bitkinin antimikrobiyal ve yara iyileştirici etkilerine dayanmaktadır. Solunum yolu enfeksiyonlarına karşı ise, Aster *amellus*'un antibakteriyel ve antiviral aktiviteleri ön plana çıkmakta ve bu sayede enfeksiyonların tedavisinde doğal bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Sharma ve ark.,2022).

Farmakolojik araştırmalar, Aster *amellus*'un potansiyel terapötik uygulamalarını daha geniş bir perspektifle ele almış ve bitkinin tıbbi değerinin bilimsel temellere dayandığını ortaya koymuştur. Bu bitki, aynı zamanda modern farmasötik ürünlerin geliştirilmesinde de önemli bir kaynak olarak görülmektedir (Sharma ve ark.,2022).

7.2. Peyzaj ve Süs Bitkisi Olarak Kullanımı

Aster *amellus*, estetik değeri yüksek bir süs bitkisi olarak peyzaj tasarımlarında sıklıkla tercih edilmektedir. Bu bitki, parklar, bahçeler ve yol kenarları gibi çeşitli peyzaj alanlarında dekoratif amaçlarla yaygın olarak yetiştirilir. Çiçeklenme döneminde ürettiği renkli ve çekici çiçekler, peyzaj alanlarına görsel bir çekicilik ve canlılık kazandırır. Mor, mavi ve pembe tonlarında çiçekleriyle hem tek başına hem de diğer bitkilerle kombinasyon halinde kullanılarak çeşitli kompozisyonlar oluşturulabilir. Peyzaj tasarımında Aster *amellus*'un kullanımı, estetik değerinin ötesinde ekolojik faydalar da sağlar. Bu bitki, polinatörlerin ilgisini çekerek biyolojik çeşitliliğin artmasına önemli katkılarda bulunur. Arılar, kelebekler ve diğer tozlayıcılar için nektar kaynağı olması, yerel ekosistemlerdeki polinasyon süreçlerinin desteklenmesine yardımcı olur. Aster *amellus*'un çiçeklenme dönemi boyunca bu tozlayıcıları cezbetmesi, sadece bitkilerin değil, aynı zamanda çevredeki flora ve faunanın da çeşitliliğini artırır (Girishave ve ark.,2012; Sharma ve ark.,2022).

Bu bitkinin peyzaj tasarımlarında kullanımı, aynı zamanda sürdürülebilir ve düşük bakım gerektiren bahçecilik uygulamalarını destekler. Aster *amellus*, kuraklık koşullarına karşı dayanıklılığı ve çeşitli toprak tiplerinde başarılı bir şekilde büyüme yeteneği sayesinde, düşük su ve bakım ihtiyaçları olan alanlarda ideal bir seçimdir. Bitkinin rizomlar aracılığıyla vegetatif üreme yeteneği, hızlı yayılma ve örtü sağlama özellikleri ile peyzaj alanlarının hızlı ve etkili bir şekilde yeşillendirilmesini sağlar [Girishave ve ark.,2012; Pergl ve ark.,2016; Sharma ve ark.,2022).

Aster *amellus*'un peyzaj ve süs bitkisi olarak geniş kapsamlı kullanımı hem estetik hem de ekolojik açıdan değerli bir bitki olmasını sağlamaktadır. Bu bitkinin peyzaj tasarımında kullanılması, yalnızca görsel güzelliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda çevresel

sürdürülebilirliği destekler ve yerel biyolojik çeşitliliğin korunmasına katkıda bulunur (Pergl ve ark.,2016).

7.3. Ekonomik ve Kültürel Önemi

Aster amellus, yüksek ekonomik değeri ile tanınan bir bitki türüdür. Süs bitkisi olarak satışı, dünya genelinde önemli bir ticari gelir kaynağı oluşturur. Özellikle bahçecilik ve peyzaj sektörlerinde, *Aster amellus*'un estetik cazibesi ve dayanıklılığı, onu tercih edilen bir bitki haline getirir. Çiçek yetiştiriciliği ve satışı, yerel ekonomilere katkıda bulunur ve küçük ölçekli çiftçiler ile bahçecilik işletmeleri için önemli bir gelir kaynağı sağlar (Khandare ve Govindwar, 2015).

Ekonomik değerinin yanı sıra, *Aster amellus*, kültürel bağlamda da büyük bir öneme sahiptir. Avrupa'nın bazı bölgelerinde, bu bitki geleneksel festivallerde ve törenlerde önemli bir rol oynar. Özellikle sonbahar aylarında düzenlenen festivallerde, *Aster* çiçekleri dekoratif amaçlarla kullanılır ve bu bitki, mevsimsel değişimlerin bir sembolü olarak kabul edilir. Ayrıca, *Aster amellus*, belirli ritüellerde ve kutlamalarda sıkça kullanılan bir bitkidir ve bu, bitkinin toplumsal ve kültürel değerini pekiştirir (Plachá, 2006; Khandare ve Govindwar, 2015).

Aster amellus'un kültürel anlamı, yerel halkın geleneklerinde ve ritüellerinde de kendini gösterir. Bu bitki, bazı topluluklarda sağlık ve refahın sembolü olarak kabul edilir ve bu nedenle evlerde ve topluluk alanlarında süs bitkisi olarak yaygın şekilde kullanılır. Çiçeklerinin parlak renkleri ve dayanıklılığı, *Aster amellus*'u sadece ekonomik bir kaynak değil, aynı zamanda kültürel mirasın bir parçası haline getirir (García ve ark.,2008).

8. YETİŞTİRME VE BAKIM

8.1. Üretim Teknikleri

Aster amellus'un üretimi hem tohumla hem de vegetatif yöntemlerle gerçekleştirilebilir ve her iki yöntem de bitkinin sağlıklı ve verimli bir şekilde çoğalmasını sağlar. Tohumla üretim, genellikle erken ilkbaharda yapılır. Tohumlar, önceden hazırlanmış ve iyi drene edilmiş topraklara ekilir. Çimlenme süresi boyunca düzenli sulama, tohumların başarılı bir şekilde filizlenmesi için kritik öneme sahiptir. Çimlenme oranını artırmak için tohumların ekim öncesinde soğuk katlama gibi işlemlerle ön muamele edilmesi önerilir (Jeon ve ark., 2013).

Vegetatif çoğaltma ise, rizomların bölünmesi ve yeniden dikilmesi ile gerçekleştirilir. Rizomlar, bitkinin yer altındaki yatay kök yapılarıdır ve bitkinin vegetatif olarak çoğalmasını sağlar. Bu yöntem, bitkinin genetik yapısını koruyarak homojen bir popülasyon elde etmek için etkili bir yoldur. Rizomlar erken ilkbaharda veya sonbaharda, bitkinin aktif büyüme döneminde bölünerek yeniden dikilir. Bu süreçte, iyi drene edilmiş ve besin açısından zengin topraklar tercih edilmelidir. Bölünmüş rizomların düzenli sulanması, köklenme ve büyüme süreçlerini destekler (Jeon ve ark., 2013).

Her iki üretim yöntemi de belirli avantajlar sunar. Tohumla üretim, genetik çeşitliliği artırarak bitkinin adaptasyon yeteneğini geliştirirken, vegetatif çoğaltma, daha hızlı ve homojen bir büyüme sağlar. Ayrıca, vegetatif yöntemler, özellikle ticari üretimde hızlı ve verimli bitki çoğaltımı için sıklıkla tercih edilir. Uygulanan üretim tekniği ne olursa olsun, *Aster amellus*'un sağlıklı büyümesi için uygun iklim ve toprak koşullarının sağlanması önemlidir. Bu bitkinin

büyüme sürecinde karşılaşılabileceği olası stres faktörlerinin yönetimi de üretim başarısını doğrudan etkiler (Lopez ve ark.,2006; Kang ve ark., 2020).

8.2.Sürdürülebilir Tarım Uygulamaları

Aster *amellus*'un başarılı bir şekilde yetiştirilmesinde sürdürülebilir tarım uygulamaları büyük bir öneme sahiptir. Bu uygulamalar, çevresel etkileri minimize ederken uzun vadede sağlıklı ve verimli bir üretim sağlama hedefi taşır. Sürdürülebilir tarımın önemli bileşenlerinden biri organik gübre kullanımıdır. Kimyasal gübrelerin aksine, organik gübreler toprağın mikrobiyal aktivitelerini ve yapısını iyileştirerek, toprak sağlığını korur ve bitkilerin besin maddelerini daha etkin bir şekilde almasını sağlar (Pánková, 2009; Hue ve Silva, 2020).

Aster *amellus*'un yetiştirilmesinde bir diğer kritik uygulama ise su tasarrufu sağlayan sulama sistemlerinin kullanımıdır. Damla sulama ve yağmurlama gibi verimli sulama yöntemleri, su kaynaklarının etkin kullanımını destekler ve bitkinin su stresini minimize eder. Bu yöntemler, suyun doğrudan köklere ulaşmasını sağlayarak buharlaşma yoluyla su kaybını azaltır. Su tasarrufu hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemlidir, özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde bu uygulamalar büyük fayda sağlar (Singh, 2017).

Biyolojik mücadele yöntemleri, sürdürülebilir tarımın bir diğer önemli bileşenidir. Aster *amellus*'un zararlılara ve hastalıklara karşı korunmasında doğal düşmanların ve biyolojik ajanların kullanımı, kimyasal pestisitlere olan bağımlılığı azaltır. Bu yöntemler, ekosistemdeki biyolojik dengeyi korur ve bitkilerin sağlıklı bir şekilde büyümesini destekler. Ayrıca, biyolojik mücadele, çevresel kirliliği önler ve tarım alanlarındaki biyoçeşitliliği artırır (Castro, 2011; Münzbergová ve ark., 2011).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Aster *amellus*'un yeni kullanım alanlarının keşfedilmesi ve ticari değerinin artırılması için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Bitkinin farmakolojik potansiyeli üzerine yapılan çalışmalar, tıbbi uygulamalarda kullanılabilecek yeni biyoaktif bileşiklerin keşfine katkıda bulunabilir. Ayrıca, bitkinin süs bitkisi olarak daha geniş ölçekli üretimi ve ticari pazarlara entegrasyonu, ekonomik faydalarını artırabilir. Peyzaj tasarımı ve biyolojik çeşitlilik projelerinde Aster *amellus*'un rolü, çevresel sürdürülebilirlik ve estetik katkılar açısından araştırılabilir.

Sonuç olarak, Aster *amellus*'un genetik, ekolojik ve ticari boyutları üzerine yapılacak olan gelecekteki araştırmalar, bu bitkinin bilimsel ve ekonomik potansiyelini daha iyi anlamamızı sağlayacaktır. Bu çalışmalar hem akademik literatüre hem de pratik uygulamalara değerli katkılar sunacaktır.

KAYNAKLAR

- Achika, J.I., Arthur, D.E, Gerald, I. and Dedayo, A. A review on the phytoconstituents and related medicinal properties of plants in the Asteraceae family. IOSR J Appl Chem, 7(8), 1-8. 2014.
- Baskin, C.C and J.M. Baskin, J.M. Seed dormancy in Asteraceae: a global vegetation zone and taxonomic/phylogenetic assessment. Seed Science Research, 33(2), 135-169. 2023.

- Beresford-Kroeger, D. A garden for life: The natural approach to designing, planting, and maintaining a north temperate garden. University of Michigan Press. 2004.
- Bremer, K. Major clades and grades of the Asteraceae. *Compositae: systematics*, 1,1-7. 1996.
- Rameau, J.C., Mansion, D and Dume, G. Flore forestière française: Plaines et collines (Vol. 1). Forêt privée française. 1989.
- Castro, S., Münzbergová, Z., Raabová, J. and Loureiro, J. Breeding barriers at a diploid–hexaploid contact zone in *Aster amellus*. *Evolutionary Ecology*, 25, 795-814. 2011.
- Chandanshive, V.V., Kadam, S.K., Khandare, R.V., Kurade, M.B., Jeon, B.H., Jadhav, J.P and S.P. Govindwar, S.P In situ phytoremediation of dyes from textile wastewater using garden ornamental plants, effect on soil quality and plant growth. *Chemosphere*, 210, 968-976. 2018.
- Chatterji, A.K Structure and behavior of chromosomes in different varieties of *Aster amellus* L. and their mode of origin. *Caryologia*, 15(3), 515-524. 1962.
- García, M., Oyonarte, C., Villagarcía, L., Contreras, S., Domingo, F. and J. Puigdefábregas, J. Monitoring land degradation risk using *Aster* data: The non-evaporative fraction as an indicator of ecosystem function. *Remote Sensing of Environment*, 112(9), 3720-3736. 2008.
- Girisha, R., Shirol, A.M., Patil, K.V and Kulkarni, B.S. Effect of Different Plant Growth Regulators on Growth, Flowering and Quality of Daisy (*Aster amellus* L.) cv. Dwarf Pink. *Indian Horticulture Journal*, 2(1and2), 39-42. 2012.
- Hue, N.V. and Silva, J.A. Organic soil amendments for sustainable agriculture: organic sources of nitrogen, phosphorus, and potassium. *Plant nutrient management in Hawaii's soils, approaches for tropical and subtropical agriculture*. College of Tropical Agriculture and Human Resources University of Hawaii, Manoa, 133-144. 2020.
- Jankovic, P., Susanna, A and Marin, P.D. Micromorphology and anatomy in systematics of Asteraceae. An old-fashioned approach? *Biologica Nyssana*, 10(2). 2019.
- Jeon, K.S., Song, K.S., Yoon, J.H., Kim, C.H. and Kim, J.J. Effects of seed pretreatment and environment controls on germination of *Atractylodes japonica* seeds. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*, 21(5), 394-400. 2013.
- Jones, A.G and P. Hiepko, P. Berlin'deki Willdenow herbaryumunda *Aster* sl (Asteraceae) c insi. *Willdenowia*, 343-360. 1981.
- Jones, A.G. A classification of the New World species of *Aster* (Asteraceae). *Brittonia*, 230-239. 1980.
- Kang, W.S., Kim, M.G., Kim, S.Y., Han, S.H. and Kim, D.H. Effect of Seed Priming and Pellet Coating Materials on Seedling Emergence of *Aster koraiensis*. *Journal of Korean Society of Forest Science*, 109(1), 41-49. 2020.
- Khandare, R.V. and Govindwar, S.P. Phytoremediation of textile dyes and effluents: current scenario and future prospects. *Biotechnology Advances*, 33(8), 1697-1714. 2015.
- Kolupaev, E., Yastreb, O., Ryabchun, I., Kuzmyshyna, V., Marenych, M. and Ryabchun, K. Signaling And Protection Systems In The Adaptation of Plants To Cold. *Journal Of Central European Agriculture*, 24(1), 202-215. 2023.
- Krushnaiah, R., Nayak, M.H, Prasanth, P and Saidanaik, D. Studies on the effect of integrated nutrient management on growth, flowering and yield of italian aster (*Aster amellus* L.)

- cv. 'Purple Multipetal'. Journal homepage: <http://www.ijemas.com>, 7(10), 2018.
- Kumar, A., Bhatti, S.K., Mangla, C. and Aggarwal, A. Survey of some important ornamental flowering plants of Solan, Himachal Pradesh with enumeration. *Asian J Adv. Basic Sci*, 3(2), 84-90. 2015.
- Landolt, E., Bäumler, B., Erhardt, A., Hegg, O., Klötzli, F., Lämmli, W and Wohlgemuth, T. Flora indicative Ecological indicator values and biological attributes of the flora of Switzerland and the Alps: ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen. Haupt Verlag. 2010.
- Lopez, J., Gonzalez, A. and Contreras, F. The use of photoperiodic Lighting in Floriculture in Mediterranean Conditions: *Aster. Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology: Advances and Topical*, (1st), 678-682. 2006.
- Mayor, R. Ecology and genetics of the rare plant *Aster amellus* L. in a fragmented landscape (Doctoral dissertation, Verlag nicht ermittelbar). 2008.
- Müller-Stoll, W.R. Ökologische Untersuchungen an Xerothermpflanzen des Kraichgaus. *Bot*, 29, 161-253. 193
- Münzbergová, Z., Raabová, J., Castro, S. and Pánková, H. Biological flora of central Europe: *Aster amellus* L. (Asteraceae). *Perspectives in plant ecology, evolution and systematics*, 13(2), 151-162. 2011.
- Nesom, G. L. Subtribal classification of the Astereae (Asteraceae). *Phytologia*, 76. 1994.
- Pánková, H. Importance of mycorrhizal symbiosis for local adaptations of *Aster amellus*. 2009.
- Pergl, J., Sádlo, J., Petřík, P., Danihelka, J., Chrtek Jr, J., Hejda, M. and P. Pyšek, P. Darkside of the fence: ornamental plants as a source of wild-growing flora in the Czech Republic. *Preslia*, 88(2), 163-184. 2016.
- Plachá, H. Importance of mycorrhizal symbiosis for local adaptations of *Aster amellus*. 2006.
- Punt, W and Hoen, P.P. The Northwest European Pollen Flora, 70: Asteraceae Asteroideae. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 157(1-2), 22-183. 2009.
- Raman, G., Choi, K.S and Park, S. "Population Structure and Genetic Diversity Analyses Provide New Insight into the Endemic Species *Aster spathulifolius* Maxim. and Its Evolutionary History. *Plants*, 13(1), 88. 2023.

BİTKİSEL ATIKLARIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ

Prof.Dr.Mehmet Ufuk KASIM³

Kocaeli Üniversitesi

mukasim@kocaeli.edu.tr - 0000-0003-2976-7320

Prof.Dr.Rezzan KASIM

Kocaeli Üniversitesi

rkasim@kocaeli.edu.tr - 0000-0002-2279-4767

ÖZET

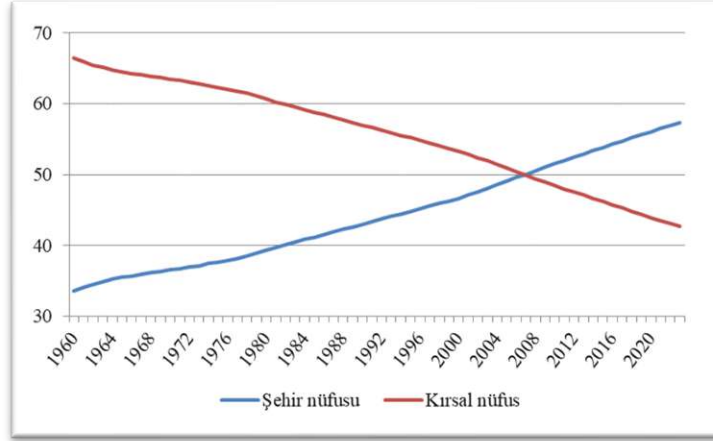
Kırsal yerleşim alanlarındaki nüfusun büyük şehirlere göç etmesi ile birlikte, şehirlerde artan nüfus yoğunluğuyla beraber bazı sorunlar da ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birisi de katı atık, diğer bir ifade ile evsel çöplerdir. Evlerden çıkan atıkların bir kısmı geri dönüşebilir kağıt, metal, plastik gibi ürünlerden oluşurken, önemli bir kısmını da organik atıklar oluşturmaktadır. Bununla beraber şehir yaşamı içerisinde yer alan bitkisel alanlardan da önemli miktarda organik atık çıkmaktadır. Gerek evsel, gerekse peyzaj alanlarındaki bitkisel organik atıkların uygun şekillerde geri dönüştürülmesi doğal dengenin korunması açısından olağanüstü öneme sahiptir. Bu işlemler doğru şekillerde yapılmadığı takdirde çevre üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Organik atıkların uygun olmayan ortamlarda anaerobik fermantasyona uğraması sonucu açığa çıkan metan gazı, küresel ısınmaya neden olan önemli bir sera gazıdır. Dolayısı ile organik atıkların çevreye zarar vermeden geri dönüştürülmesi önemlidir. Aerobik parçalanma sonucunda, organik maddelerden elde edilecek kompost, tarımda kullanılacak önemli materyallerden birisi olmakla beraber sürdürülebilir bir kaynak olduğu için global kaynak korunumunu açısından da son derece önemlidir. Geri dönüşüm süreciyle elde edilecek bu materyaller toprak kalitesini iyileştirerek, toprak verimliliğini ve bitki büyüme ve gelişmesini artırma kapasitesine sahiptir. Bu çalışmada geri dönüşümde kullanılacak bitkisel materyaller, geri dönüşüm yöntemleri, geri dönüşüm ile elde edilecek materyallerin özellikleri ve kullanım alanları hakkında bilgiler verilecektir.

Anahtar Kelimeler : Bitkisel atık, kompost, sürdürülebilirlik, geri dönüşüm.

³ Sorumlu yazar

1. GİRİŞ

Dünya nüfusu son altmış yıl içerisinde önemli değişim göstermiştir. 1960 yılında 3 milyar olan dünya nüfusu bugün yaklaşık 8,2 milyardır (Worldometer, 2024). Diğer çarpıcı bir değişiklikte şehir ve kırsal nüfustaki değişimdir. 1960 yılında kırsal alanda yaşayan nüfus oranı %66,4 iken 2007 yılında şehirlerde yaşayan nüfus kırsal nüfusu geçmiştir. Bugün şehirde yaşayan insan nüfusu oranı %57,34'dür (Şekil 1) (O'Neill, 2024). Türkiye'de 2022 yılında il ve ilçe merkezlerinde yaşayanların oranı %93,4 iken köylerde yaşayan nüfus oranı %6,6'dır ve hızla kırsal nüfus düşmeye devam etmektedir (TUIK, 2022)



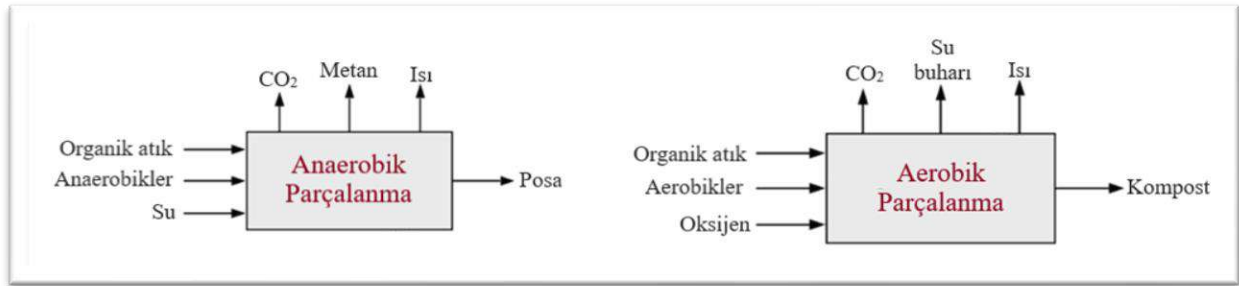
Şekil 1. 1960 ile 2023 yılları arasında Dünya nüfusunun kırsal alanda ve şehirlerde yaşama oranı (O'Neill, 2024)

Şehirleşmenin artışı ile beraber nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bir yaşam tarzı oluşmuş ve oluşmaya da devam etmektedir. Özellikle kırsal yerleşim alanlarındaki nüfusun büyük şehirlere göç etmesi ile birlikte artan nüfus yoğunluğuyla beraber bazı sorunlar da ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birisi de katı atık, diğer bir ifade ile evsel çöplerdir. Evlerden çıkan atıkların bir kısmı geri dönüşebilir cam, kağıt, metal, plastik gibi ürünlerden oluşurken, önemli bir kısmını da organik atıklar oluşturmaktadır (Azis vd., 2022) (Şekil 2).



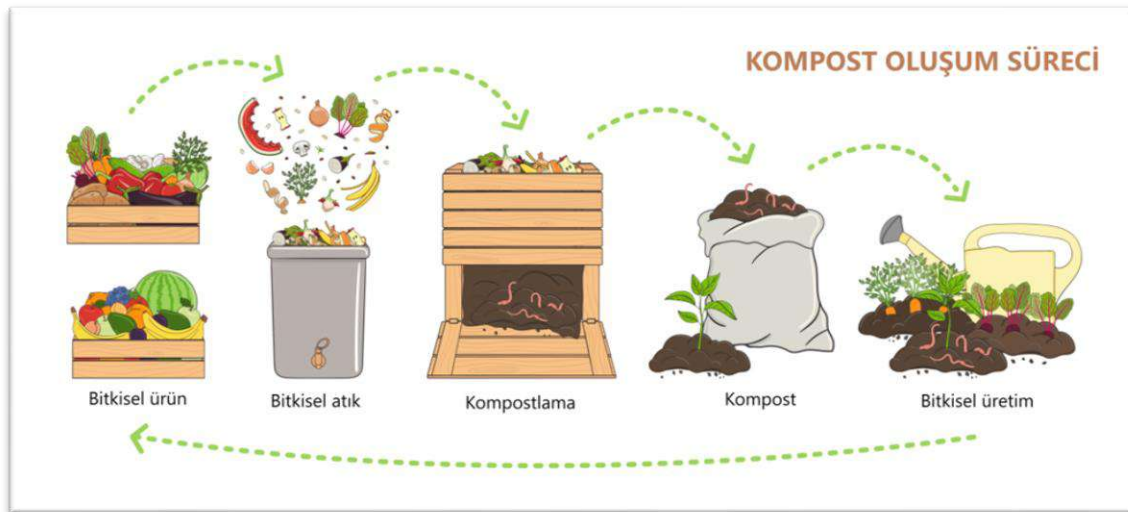
Şekil 2. Dünyada açığa çıkan atıkların dağılımı (Azis vd. 2022)

Organik atıkların bir kısmı insan kullanımından dolayı açığa çıkarken, önemli bir kısmı da şehir yaşam alanları içerisinde yer alan bitkisel alanlardan çıkmaktadır (Kök, 2021). Gerek evsel, gerekse peyzaj alanlarındaki bitkisel organik atıkların uygun şekillerde geri dönüştürülmesi doğal dengenin korunması açısından olağanüstü öneme sahiptir. Bu işlemler doğru şekillerde yapılmadığı takdirde çevre üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Organik atıklar, çöplüklere yığınlar halinde atıldığında, materyalin içerisindeki oksijen hızla tükendiği için aerobik parçalanmanın yerini anaerobik ayrışma almaktadır (Şekil 3). Anaerobik koşullar altında organik maddelerin parçalanması sırasında yoğun metan gazı üretilmektedir (Ayılara vd., 2020, Azis vd. 2022). Bilindiği üzere metan gazı da küresel ısınmaya neden olan önemli sera gazlarından birisidir. Aerobik parçalanma sırasında çıkan CO₂'de bir sera gazıdır. Ancak metan, atmosferdeki ısıyı karbondioksitten çok daha etkili bir şekilde tuttuğundan daha tehlikeli bir sera gazıdır (Howarth, 2014)



Şekil 3. Aerobik ve anaerobik parçalanma, girdiler ve çıktılar (Azis vd. 2022)

Aerobik parçalanma sonucunda, organik maddelerden elde edilecek kompost, tarımda kullanılabilir önemli materyallerden birisi olmakla beraber sürdürülebilir bir kaynak olduğu için global kaynak korunumunu açısından da son derece önemlidir (Şekil 4). Geri dönüşüm süreciyle elde edilecek bu materyaller toprak kalitesini iyileştirerek, toprak verimliliğini ve bitki büyüme ve gelişmesini artırır (Kharola vd., 2022). Organik atık geri dönüşümü ayrıca daha temiz üretim, sıfır atık politikaları, sürdürülebilirlik ve biyo-bazlı dairesel ekonomi gibi popüler kavramları da öne çıkarır (Sharma vd., 2020).



Şekil 4. Kompost üretim süreci ve bitkisel üretimde kullanımının şematik gösterimi (Anonim 2024a).

Organik atıkların aerobik koşullarda parçalanarak kompostlaştırılması, hem katma değeri yüksek bir ürün üretilmesini sağlarken hem de çevre kirliliği ve sera gazı etkisini azaltarak küresel ısınma hızının yavaşlatmaktadır. Ancak, tüm dünyada organik atıkların bertaraf edilmesinde standart uygulamalar bulunmamakta, diğer bir ifade ile uygun “Organik Atık Yönetimi” sistemleri kullanılamamaktadır. Yetersiz organik atık yönetimi, çevre kirliliği, ötrofikasyon, kentsel peyzajın estetiğinin bozulması, sera gazı emisyonu ve insan sağlığına etkileri gibi birçok soruna yol açmaktadır. Atıkların bilinçsiz ve bilimsel olmayan şekilde bertaraf edilmesi, çevre kalitesi açısından büyük bir tehdit oluşturduğu gibi, atıkların ekonomik değer kaybına da yol açmaktadır. Organik atıklar, organik madde ve değerli bitki besin maddelerinin bol miktarda bulunduğu bir havuz olduğundan, bu atıkların tarımsal olarak geri dönüştürülmesi, değer katmayı ve bunların verimli kullanımını sağlayan umut verici bir alternatif olarak görünmektedir (Pathak vd., 2016; Yang vd., 2015). Çizelge 1’de geleneksel atık yönetimi ile kompostlama süreci karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda olabildiğince toplumların ve özellikle belediyelerin farkındalığının artırılması önem kazanmaktadır. Bu çalışma organik atıkların komposta dönüştürülmesi bilincine katkı sunmak amacı ile hazırlanmıştır.

Çizelge 1. Kompostlama ile geleneksel atık yönetiminin karşılaştırması (Ayılara vd. 2020)

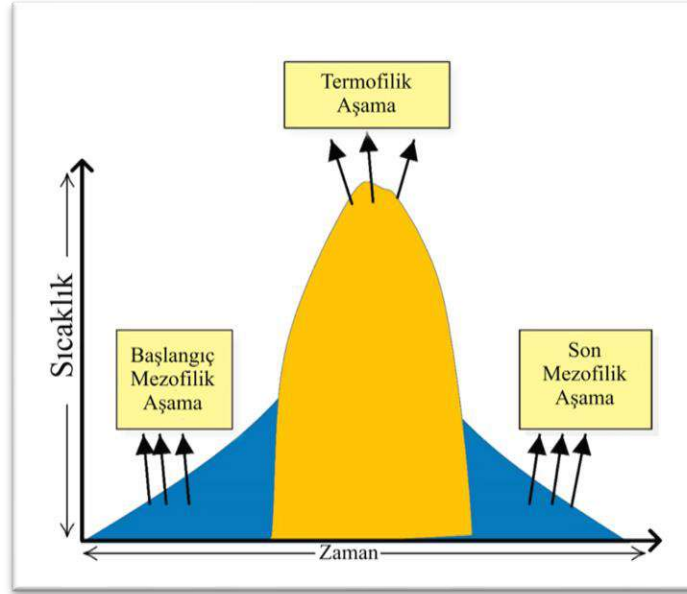
Kompostlama	Geleneksel
Kompostlama, toprak parçacıklarını bir arada tutarak erozyonu önlediği için çevresel sürdürülebilirliği sağlamaya yardımcı olur. Atıkların kontrollü bir ortamda tutulmasına ve yararlı bir ürüne dönüştürülmesine yardımcı olur. Kirlenmiş toprağın biyoremediasyonuna yardımcı olurlar. Ayrıca, ürüne faydalı olan farklı böcekleri, bakterileri, mantarları vb. çekerek topraktaki biyolojik çeşitliliği artırır. Kontrollü bir ortamda işlenirler	Geleneksel atık yönetim yöntemleri (açık çöplük, nehir ve okyanus çöplüğü, sıhhi çöplükler ve yakma) toprağı, havayı ve su kütlelerini kirletir. Koku yayar ve kötü görüntüler yaratır. Ayrıca atıklar gömüldüğünde yeraltı suyunun kirlenmesine neden olurlar.
Ayrıca bitkilerdeki hastalıkları baskılamaya ve toprağı zenginleştirmeye yardımcı olurlar	Bunlar (hayvan besleme, yakma, açık çöplük, nehir ve okyanus çöplüğü) insan ve hayvan sağlığı üzerinde kötü etkisi olan zararlılara, patojenlere ve böceklere ev sahipliği yaparlar.
Metan gibi gazların üretimini azaltarak sera etkilerini azaltmaya yardımcı olurlar. Kompostlama sırasında CO ₂ salınmasına rağmen, diğer (yanma) atık yönetim modlarına kıyasla daha azdır	Bunlar sera etkisine büyük ölçüde katkıda bulunur. Bu, atıkların yanması sonucu ortaya çıkar.
Atık hacmini önemli ölçüde azaltır	Atıklar (açık çöplük, nehir ve okyanus çöplüğü) genellikle istiflenir ve bu nedenle atıkların hacmi artar
Poliyeten torbalar, plastikler ve diğerleri gibi dirençli maddeler kompostlanamaz	(Yakma) Plastikleri, poşetleri vb. çevre kirliliği tehdidi oluşturmalarına rağmen işleyebilir.

2. KOMPOSTLAŞMA

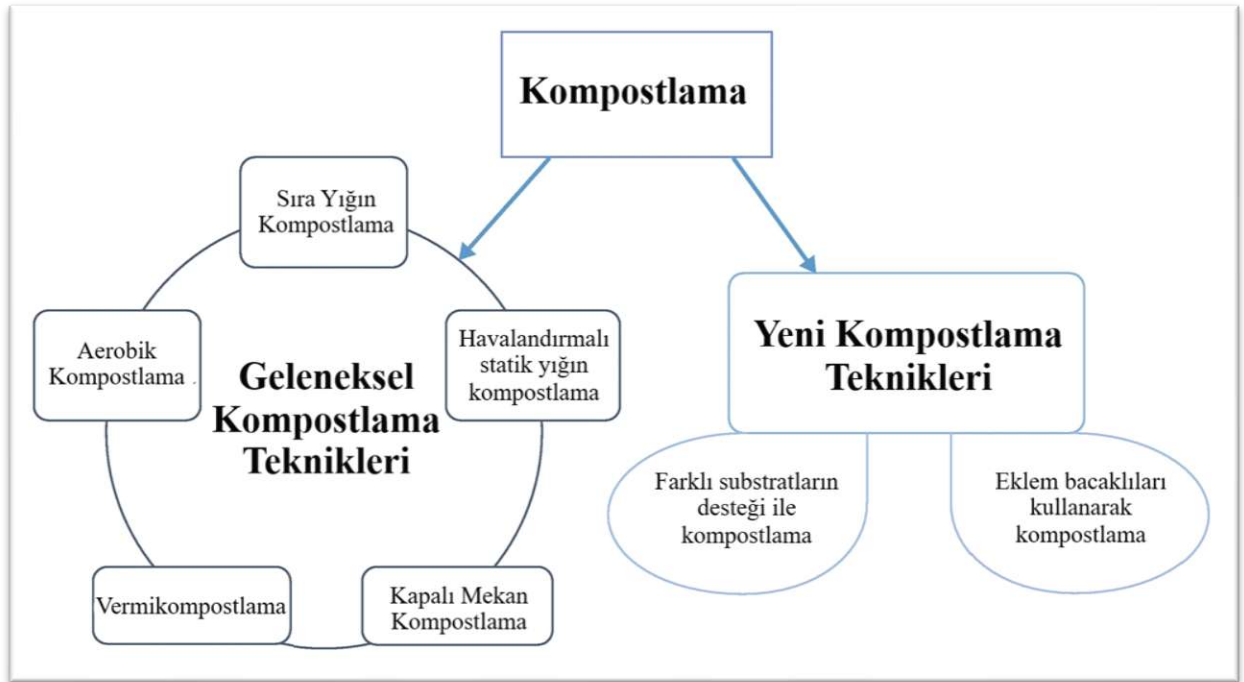
Kompost, organik maddelerin kontrollü biyolojik ayrışmasının ürünüdür. Daha spesifik olarak kompost, kontrollü koşullar altında organik maddenin biyolojik ayrışmasından kaynaklanan stabil, humus benzeri üründür. Organik materyallerin kompostlaştırma sürecinin iyi düzenlenmesi ve optimize edilmesi daha hızlı bir süreç ve kaliteli bir son ürün üretilmesini sağlar (Chen vd. 2011). Kompostlaşma sırasında mikroorganizmalar organik atıkları ekzotermik bir şekilde karbondioksit, biyokütle ve humusa ayrıştırır (Zhang ve Sun, 2017). Kompostlaşmanın en önemli ürünü olan humus, toprak kalitesini iyileştirirken kompostlaşma sürecini değerlendirmek için önemli bir göstergedir. Kompostlaşmanın humifikasyon aşaması, humusun büyük miktarda toplanması için kritik bir dönemdir (Gao vd., 2019). Humifikasyon süreci iki ana aşamadan oluşur. İlk olarak, kolayca parçalanabilen organik maddeler mikroorganizmalar tarafından, amino asitler, şekerler, polifenoller ve diğer küçük moleküllü organik asitler gibi humik öncüllerine parçalanırlar (Wu vd., 2017a). İkinci olarak, humik maddeler polimerizasyon ve oksidasyon gibi bir dizi biyokimyasal reaksiyon yoluyla farklı humik öncüllerden oluşur (Chen vd., 2023). Humus oluşum yollarıyla ilgili dört farklı teori yaygın olarak kabul görmüştür (Yin vd., 2023): lignin-protein teorisi, polifenol öz-yoğunlaşması, polifenol-protein yolu ve Maillard reaksiyonu (Qi vd., 2020; Zhang vd., 2018). Humus öncülleri esas olarak termofilik mikroorganizmaların önemli rol oynadığı aerobik kompostlaşmanın ısıtma ve yüksek sıcaklık aşamalarında bulunurken, humus oluşumu soğutma ve olgunlaşma aşamalarında meydana gelir (Wu vd., 2017b). Mezofilik mikroorganizmalar, lignin enzimleri salgılayarak fenoller ve kinonlar gibi maddeler oluşturmak için lignini parçalar ve sonunda humus oluşturur (Zhu vd., 2021). Bu nedenle, sıcaklık ve mikroorganizmalar kompostlaşma için gerekli en önemli parametrelerdir (Şekil 5). Yaygın mezofilik mikroorganizmalar; *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Clostridium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Humicola*, *Penicillium* ve *Streptomyces* vb.'dir. Bol miktarda besin kaynağının bulunması nedeniyle bu mikroplar hızla büyür ve kendi metabolizmaları ile ısı üretir ve yığının sıcaklığını kendi aktivitelerinin baskılandığı noktaya kadar yükseltir. Daha sonra birkaç termofilik mantar (*Aspergillus*, *Mucor*, *Chaetomium*, *Humicola*, *Absidia*, *Sporotrichum*, *Torula* (maya) ve *Thermoascus*), termofilik bakteri (*Bacillus* ve *Thermus*) ve birkaç aktinomiset (*Streptomyces*, *Micropolyspora*, *Thermoactinomyces* ve *Thermomonospora*) yığın sıcaklığını 65 ila 70°C veya daha yükseğe çıkarma sürecini sürdürür (Mehta vd., 2018).

3. KOMPOSTLAMA TEKNİKLERİ

Kompostlama teknikleri “geleneksel kompostlama teknikleri” ve “yeni kompostlama teknikleri” olarak iki ana kategoriye ayrılmıştır. Bu tekniklerin Şekil 6’da verilen alt kategorileri aşağıda kısaca açıklanmıştır.



Şekil 5. Kompostlaşma sırasında sıcaklık değişimi ile etkili mezofilik ve termofilik mikroorganizmaların faaliyet dönemleri (Ayılara vd. 2020).



Şekil 6. Kompostlama tekniklerinin sınıflandırılması (Mandpe vd., 2020)

3.1. Geleneksel Kompostlama Teknikleri

a. Sıralı yığın kompostlama

Bu sistemde, bitkisel atık yığınları belli genişlikte (1,5-2 m) ve yükseklikte (1,5-2 m), alanın izin verdiği uzunlukta hazırlanırlar. Bu sistemdeki atıklar iç kısımlarında mikroorganizma aktivitesi

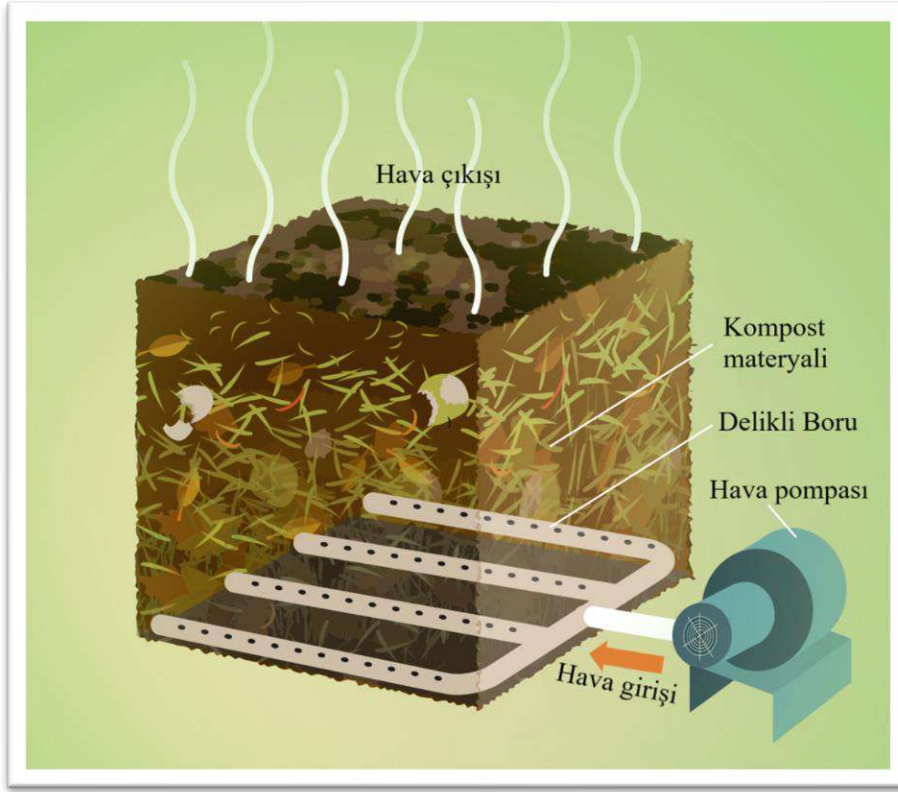
sonucu tüklenen oksijenin geri kazandırılması için belli aralıklarla aktarılır ve termofilik mikroorganizmaların faaliyetlerini devam ettirmesi sağlanır. Atık yığınlarının aktarılması ve karıştırılması, kompostun sıcaklığının düşmesini, oksijen seviyesinin artmasını ve parçalanmanın homojen olmasını sağlar (Kumar, 2011, Oshins vd., 2022). Yığın sistemlerinin periyodik olarak aktarılması ve karıştırılması için kullanılan çeşitli mekanik ekipmanlardan faydalanılır (Şekil 7). Bu ekipmanlar hem kısa sürede büyük miktarlarda materyali aktarabilir, hem de homojen karıştırma sağlayabilir (Hashim vd., 2024).



Şekil 7. Kompost aktarma ve karıştırma makinası (a) (Hashim vd., 2024), kompost karıştırılması (b) (Oshins vd., 2022)

b. Havalandırmalı statik yığın kompostlama

Havalandırmalı statik yığın kompostlama sisteminde, kompost yığın halinde bırakılır, herhangi bir karıştırma ya da aktarma işlemi yapılmaz. Yığın içerisindeki mikroorganizma faaliyete bağlı olarak azalan oksijen, yığının tabanında bulunan delikli borular vasıtası ile verilir (Şekil 8). Bitkisel atıklar 30-35 gün boyunca herhangi bir fiziksel aktivite olmadan ayrışır (Zouitina vd., 2019). Eğer oksijen yetersizliği olursa termofilik bakteriler çalışamaz ve istenilen sıcaklık değerleri elde edilemez (Calix vd., 2022). Bu atık yığınları açık (Şekil 9a), kapalı, yarı kapalı (Şekil 9b,c) tipte olabilirler. Havalandırma oranı, bu tür kompostlama sistemindeki en kritik faktörlerden biridir. Yığın içerisinde homojen olmayan havalandırma, atık yığınının içinde sıcaklık farklılıklarına neden olur. Bu da parçalanmanın homojenitesini bozar (Hubbe vd., 2010).



Şekil 8. Havalandırmalı statik yığın kompostlama sisteminin şematik görünümü (Calix vd., 2022).



Şekil 9. Havalandırmalı statik yığın kompostlama sisteminde açık (a) (Anonim 2024b), yarı açık (b) (Anonim 2024c) ve yarı açık bunker sistemi (c) (Anonim 2024d).

c. Solucan gübresi (vermikompost) yapımı

Solucan gübresi üretimi süreci, yarı ayrılmış biyolojik olarak parçalanabilir atıkların parçalanması için farklı türlerdeki solucanların kullanılmasını kapsar. Solucanlar besin elde etmek için organik parçacıkları ve yerleşik mikroorganizmaları yutarlar ve sindirim sistemlerinden organik madde olarak çıkarırlar. Bu ürüne solucan gübresi ya da vermikompost denir (Rynk vd. 2022). Solucanların her gün vücut kütlelerinin beş katına kadar organik madde tüketebildikleri bulunmuştur (Zouitina vd., 2019). Solucan gübresi üretim sistemlerinde yaygın olarak kullanılan solucan türleri *Perionyx excavatus*, *Eudrilus eugeniae* ve *Eisenia foetida*'dır (Wonnapijij vd., 2022). Vermikompost üretimi termofilik kompostlamadan farklıdır. Burada daha düşük, mezofilik sıcaklıklarda gerçekleşen bir süreç vardır. Solucan gübresi solucanları yaklaşık 15-28°C aralığındaki sıcaklıklarda gelişir ve 35°C'nin üzerindeki sıcaklıklara

dayanamazlar. Sıcaklıklar, sığ sıralar, yataklar ve kutular kullanılarak ve solucanların ihtiyaç duyduğu şekilde hammaddeler kademeli olarak eklenerek düşük tutulur. Yüksek sıcaklıkların olmaması, solucan gübresinin ısıyla dezenfekte edilmediği anlamına gelir. Ancak patojen sayıları, solucanların sindirimi ve rekabet eden diğer mikroorganizmalar tarafından büyük ölçüde azaltılır (Sawati ve Hait, 2018). Solucanlar gıda artıklarını, hayvan gübrelerini, ürün atıklarını, kağıt ürünlerini, endüstriyel organik yan ürünleri ve bira fabrikası atıklarını işleyebilir. Bununla beraber; sığır, domuz, at, keçi, lama, alpaka, koyun ve tavşan gübreleri, genellikle solucanlar tarafından iyi derecede kompostlanır. Tavuk gübresi, amonyak oranı çok yüksek olduğu için kullanılması pek uygun değildir (Rynk vd. 2022)

d. Aerobik kompostlama

Aerobik kompostlama sistemi, belli boyutta oluşan bir yığının belirli bir sıcaklık, pH aralığında ve oksijen varlığında gerçekleşen kompostlaşma işlemidir. Doğada, aerobik ayrışma süreci için en yaygın alan, hayvan ve bitki kalıntılarının ölü ve çürümüş materyalinin maksimum miktarda olduğu ve nispeten kararlı organik maddeye dönüştürülebildiği ormandır ve yeterli miktarda oksijenin varlığı nedeniyle bu tür ayrışmada koku yoğunlaşması olmaz (Mehta vd., 2018).

e. Kapalı sistem kompostlama

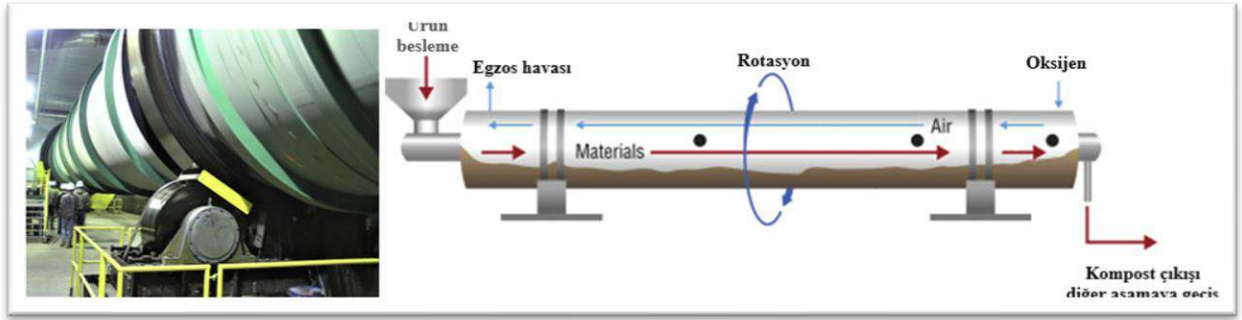
Bu yöntem; kapalı bir sistem yada yapı içerisinde, organik atığın kontrollü koşullarda ayrıştırılmasını içerir (Manyapu vd., 2017). Farklı tipleri bulunmaktadır. Bunlar: 1) Kapalı bunker sistemi benzeri, kapalı yapılarda havalandırmalı, karıştırma yapmadan yapılan üretim sistemi (Şekil 10), 2) İçten karıştırıcı bıçakları bulunan sistemler (Şekil 11), 3) Tamburlu sistemler, komple dönen tamburlar (Şekil 12). Genellikle bu sistemlerde otomatik sıcaklık, nem ve oksijen kontrolü ve müdahalesi yapılmaktadır. Bu sistemlerde koku, sinek ya da görsel kirlilik sorunu olmamaktadır.



Şekil 10. Zorlanmış havalandırmalı kapalı konteyner içi kompost sistemi (Anonim 2024e)



Şekil 11. Tam kontrollü, içten karıştırımalı kompost bioreaktörü (Michel vd., 2022)



Şekil 12. Rotorlu kompos makinası (Michel vd., 2022)

3.2. Yeni Kompostlama Teknikleri

Geleneksel kompostlama uygulamalarıyla ilişkili sorunların üstesinden gelmek ve kompostlama sisteminin verimliliğini artırmak için, dünya çapında farklı araştırmacılar ve çevreciler biyolojik olarak parçalanabilir atıkların etkili kompostlanması için çeşitli yaklaşımlar geliştirmeye çalışmaktadır.

a. Farklı atık substratlarının desteği ile kompostlanması

Bu, iki farklı atık substratının karıştırılıp kompostlama aktivitesini artırmak için uygulandığı bir tekniktir. Çeşitli araştırmacılar, benzersiz özellikleri nedeniyle gıda atıklarını diğer atık substratlarıyla ortak kompostlama için bir substrat olarak kullanmışlardır. Gıda atıklarının ortak kompostlanmasının uygulanması, gıda atıklarının işlenmesi için en iyi çözüm olduğunu kanıtlayabilir. Gıda atığı, uygun karbon/azot (C/N) oranını, boşlukları, nemi ve azot içeriğini korumak için kıyılmış saman, pirinç kabukları, odun yongaları, buğday samanı, pirinç kepeği, talaş ve diğer benzer biyolojik olarak parçalanabilir atıklar gibi diğer atık substratlarıyla karıştırılabilir (Kumar vd., 2018).

b. Eklembacaklıları kullanarak kompostlama

Son yıllarda, biyolojik olarak parçalanabilir atıkların verimli bir şekilde kompostlanması için yeni bir teknik olarak, kompostlama sürecinde çeşitli eklembacaklılar kullanılmaktadır. Birçok böcek türü, bitkisel kökenli atıkların yeniden işlenmesi ve dönüştürülmesinde verimli bir şekilde kullanılmaktadır (Kumar vd., 2018). Kırkayaklar ve kara sinek larvaları gibi eklembacaklılar, organik atıkların kompostlanması için başarıyla kullanılabilirler (Diener vd. 2015, Karthigeyan ve Alagesan 2011).

Tüm kompostlama yöntemlerinin kendi içerisinde avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Çizelge 2’de bu farklılıklar özetlenmiştir.

Çizelge 2. Farklı kompostlama sistemleri arasındaki farklılıklar (Zouitina vd. 2019)

Kompostlama yöntemi	Avantajları	Sınırlamalar
Sıralı yığın Kompostlama	Süre: 12–20 hafta Maliyet: Orta	Yavaş süreç Düşük rahatsızlık kontrolü Geniş alan gerektirir
Havalandırılmalı Statik Yığın Kompostlama	Süre: 10–13 hafta Maliyet: Düşük	Yavaş süreç Düşük rahatsızlık kontrolü Geniş alan gerektirir
Kapalı bioreaktör kompostlama	Hızlı kompostlama süreci Daha iyi rahatsızlık kontrolü	Yüksek sermaye ve işletme maliyeti
Konteyner tipi kapalı kompostlama	Hızlı kompostlama süreci Daha iyi rahatsızlık kontrolü	Yüksek maliyet

4. KOMPOSTLAMA SÜRECİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kompostlama sürecinin hızlandırılması ve optimizasyonu için bazı temel parametrelerin ayarlanması gerekmektedir. Bu şartlar Çizelge 3’de özetlenmiştir.

5. KOMPOST KALİTE PARAMETRELERİ

Üretilen kompostun kalitesini tanımlamak oldukça zordur. Çünkü kompostun kararlı ve kullanıldığında bitkilere zarar vermemesi gerekmektedir. Kompostun kalitesini tanımlamak için iki ayrı yaklaşım bulunmaktadır:

1. Kompostlamanın sonunda başlangıçtaki kararsız organik maddenin kararlı bir organik maddeye dönüşmesi,
2. Kompostun kullanımından dolayı bitkilere verilen zararın olmamasıdır (Azim vd., 2018)

Çizelge 3. Optimum kompost özellikleri (Zouitina vd., 2019)

Kompostlanmış atıkların başlıca parametreleri	Hızlı kompostlama için optimum özellikler
C/N oranı	25-30
pH	6.5-8
Oksijen konsantrasyonu %	>%5
Parçacık boyutu (çap, mm)	Değişir
Nem içeriği %	%50-60
Elektriksel iletkenlik (mS/cm)	3-10
Sıcaklık °C	55-60

6. KAYNAKÇA

- Anonim (2024a). Backyard Composting. <https://www.alexandriava.gov/waste/backyard-composting-0>. Erişim tarihi: 15/12/2024.
- Anonim (2024b). Aquatic aeration solutions. <https://aquatic-aeration-solutions.com/compostaeration.html>. Erişim tarihi: 10/12/2024.
- Anonim (2024c). Aerated static pile composting featuring trench style floors and biofilter. <https://compostsystems.com/case-studies/howard-county-composting/>. Erişim tarihi: 10/12/2024.
- Anonim (2024d). Composting Tunnels and Bunkers. <https://www.growingdesignslimited.co.uk/ bespoke-composting-bunkers-in-the-uk/>. Erişim tarihi: 10/12/2024.
- Anonim (2024e). <https://wikiwaste.org.uk/index.php?curid=1652>. Erişim tarihi: 10/12/2024.
- Ayilara, M. S., Olanrewaju, O. S., Babalola, O. O., & Odeyemi, O. (2020). Waste management through composting: Challenges and potentials. *Sustainability*, 12(11), 4456.
- Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S., & Thami Alami, I. (2018). Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic agriculture*, 8, 141-158.
- Azis, F. A., Rijal, M., Suhaimi, H., & Abas, P. E. (2022). Patent landscape of composting technology: A review. *Inventions*, 7(2), 38.
- Calix, J. F. M., Adhikari, A., Timmerman, A., Dunaway, C. R., Hammett, B., Kuehny, J. S., Willis, J. (2022) Composting Series: Building an Aerated Static Compost Pile. <https://www.lsuagcenter.com/articles/page1651065710319> Pub. 3838-B (Online Only) 04/22
- Chen, L., de Haro Marti, M., Moore, A., & Falen, C. (2011). The composting process. *Dairy Manure Compost Production and Use in Idaho*, 2, 513-532.

- Chen, L., Chen, Y., Li, Y., Liu, Y., Jiang, H., Li, H., ... & Zou, B. (2023). Improving the humification by additives during composting: A review. *Waste management*, 158, 93-106.
- Diener, S., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2015). Bioaccumulation of heavy metals in the black soldier fly, *Hermetia illucens* and effects on its life cycle. *Journal of insects as food and feed*, 1(4), 261-270.
- Gao, X., Tan, W., Zhao, Y., Wu, J., Sun, Q., Qi, H., ... & Wei, Z. (2019). Diversity in the mechanisms of humin formation during composting with different materials. *Environmental science & technology*, 53(7), 3653-3662.
- Hashim, S., Bashir, R., Khan, A. A., Mirani, A. A., Shoaib, M., Razzaq, A., ... & Munir, F. (2024). Performance Evaluation of Compost of Windrow Turner Machine Using Agriculture Waste Materials. *Sustainability*, 16(17), 7779.
- Howarth, R. W. (2014). A bridge to nowhere: methane emissions and the greenhouse gas footprint of natural gas. *Energy Science & Engineering*, 2(2), 47-60.
- Hubbe, M. A., Nazhad, M., & Sanchez, C. (2010). Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: a review.
- Karthigeyan, M., & Alagesan, P. (2011). Millipede composting: a novel method for organic waste recycling. *Recent Research in Science and Technology*, 3(9).
- Kök, F. (2021). Organik atıkların yönetimi, geri dönüşümü ve uygulamaları. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4(2), 99-108.)
- Kharola, S., Ram, M., Goyal, N., Mangla, S. K., Nautiyal, O. P., Rawat, A., ... & Pant, D. (2022). Barriers to organic waste management in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 362, 132282.
- Kumar, S. (2011). Composting of municipal solid waste. *Critical reviews in biotechnology*, 31(2), 112-136.
- Kumar, S., Negi, S., Mandpe, A., Singh, R. V., & Hussain, A. (2018). Rapid composting techniques in Indian context and utilization of black soldier fly for enhanced decomposition of biodegradable wastes-A comprehensive review. *Journal of Environmental Management*, 227, 189-199.
- Mandpe, A., Kumari, S., & Kumar, S. (2020). Composting: a sustainable route for processing of biodegradable waste in India. *Organic waste composting through nexus thinking: practices, policies, and trends*, 39-60.
- Manyapu, V., Mandpe, A., & Kumar, S. (2018). Synergistic effect of fly ash in in-vessel composting of biomass and kitchen waste. *Bioresource Technology*, 251, 114-120.
- Mehta, C. M., & Kanak Sirari, K. S. (2018). Comparative study of aerobic and anaerobic composting for better understanding of organic waste management: a mini review.
- Michel, F., O'Neill, T., Rynk, R., Bryant-Brown, M., Calvez, V., Li, J., & Paul, J. (2022). Contained and in-vessel composting methods and methods summary. In *The Composting Handbook* (pp. 271-305). Academic Press.

- O'Neill, A. (2024) Share of the world's population living in urban or rural areas 1960-2023. <https://www.statista.com/statistics/1262483/global-urban-rural-population/>. Erişim tarihi: 20/12/2024.
- Oshins, C., Michel, F., Louis, P., Richard, T. L., & Rynk, R. (2022). The composting process. In *The composting handbook* (pp. 51-101). Academic Press.
- Pathak H, Jain N, Bhatia A, Kumar A, Chatterjee D (2016) Improved nitrogen management: a key to climate change adaptation and mitigation. *Ind J Fertil* 12(11):151–162
- Qi, H., Zhao, Y., Zhao, X., Yang, T., Dang, Q., Wu, J., ... & Wei, Z. (2020). Effect of manganese dioxide on the formation of humin during different agricultural organic wastes compostable environments: It is meaningful carbon sequestration. *Bioresource technology*, 299, 122596.
- Rynk, R., Cooperband, L., Oshins, C., Wescott, H., Bonhotal, J., Schwarz, M., ... & Brown, S. (2022). Why compost?. In *The composting handbook* (pp. 1-26). Academic Press.
- Sharma, M., Joshi, S., Kannan, D., Govindan, K., Singh, R., & Purohit, H. C. (2020). Internet of Things (IoT) adoption barriers of smart cities' waste management: An Indian context. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122047
- Swati, A., & Hait, S. (2018). A comprehensive review of the fate of pathogens during vermicomposting of organic wastes. *Journal of environmental quality*, 47(1), 16-29.
- TUİK, (2022) Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=49685#:~:text=T%C3%BCrkiye'de%202021%20y%C4%B1l%20%93,6%2C6'ya%20d%C3%BC%5%9Ft%C3%BC>. Erişim Tarihi: 20/12/2024.
- Wonnapijit, P., Sriboonlert, A., & Surat, W. (2022). Exploration of microbial communities in the guts and casts of *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus*, and *Eisenia fetida*. *Folia Microbiologica*, 67(2), 329-337.
- Worldometer, (2024) <https://www.worldometers.info/world-population/> Erişim tarihi: 20/12/2024.
- Wu, J., Zhao, Y., Qi, H., Zhao, X., Yang, T., Du, Y., ... & Wei, Z. (2017a). Identifying the key factors that affect the formation of humic substance during different materials composting. *Bioresource technology*, 244, 1193-1196.
- Wu, J., Zhao, Y., Zhao, W., Yang, T., Zhang, X., Xie, X., ... & Wei, Z. (2017b). Effect of precursors combined with bacteria communities on the formation of humic substances during different materials composting. *Bioresource technology*, 226, 191-199.
- Yang B, Xiong Z, Wang J, Xu X, Huang Q, Shen Q (2015) Mitigating net global warming potential and greenhouse gas intensities by substituting chemical nitrogen fertilizers with organic fertilization strategies in rice–wheat annual rotation systems in China: a 3-year field experiment. *Ecol Eng* 81:289–297
- Yin, J., Xie, M., Yu, X., Feng, H., Wang, M., Zhang, Y., & Chen, T. (2023). A review of the definition, influencing factors, and mechanisms of rapid composting of organic waste. *Environmental Pollution*, 123125.

- Zhang, L., & Sun, X. (2017). Addition of fish pond sediment and rock phosphate enhances the composting of green waste. *Bioresource technology*, 233, 116-126.
- Zhang, C., Xu, Y., Zhao, M., Rong, H., & Zhang, K. (2018). Influence of inoculating white-rot fungi on organic matter transformations and mobility of heavy metals in sewage sludge based composting. *Journal of hazardous materials*, 344, 163-168.
- Zhu, N., Zhu, Y., Kan, Z., Li, B., Cao, Y., & Jin, H. (2021). Effects of two-stage microbial inoculation on organic carbon turnover and fungal community succession during co-composting of cattle manure and rice straw. *Bioresource technology*, 341, 125842.
- Zouitina, M., Echarrafi, K., El Hassani, I., & El Haji, M. (2019). Optimization of Solid Waste Composting: A Literature Review and Perspective for Fast Composting. *Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development (AI2SD'2018) Vol 3: Advanced Intelligent Systems Applied to Environment*, 73-83.

MİKRO YEŞİLLİK NEDİR? ÜRETİMİ VE İNSAN BESLENMESİNDEKİ YERİ

Prof.Dr.Mehmet Ufuk KASIM⁴

Kocaeli Üniversitesi

mukasim@kocaeli.edu.tr - 0000-0003-2976-7320

Prof.Dr.Rezzan KASIM

Kocaeli Üniversitesi

rkasim@kocaeli.edu.tr - 0000-0002-2279-4767

ÖZET

Mikro yeşillikler, bazı tahıl, sebze ve süs bitkilerine ait tohumların çimlendikten sonra kotiledon yapraklarını tam olarak geliştirdiği, bir ya da iki gerçek yaprağını kısmen oluşturdukları dönemde hasat edilen ürünlere verilen isimdir. Son 10-20 yıl içerisinde önem kazanmış olan bu ürünler, ülkemizde de son yıllarda gastronomi alanında kendisine yer edinmeye başlamıştır. Mutfak ve yemek servis alanında, çok çeşitli yemekleri süslemek için yenilebilir bir garnitür veya yeni bir salata malzemesi olarak servis edilmektedir. Üretimin, 2-5 hafta gibi kısa bir sürede tamamlanması, üretim yerlerine bağlı olarak yıl boyu üretim yapılabilmesi de büyük avantaj sağlamaktadır. Açık üretim alanlarında ya da seralarda üretim yapılabilmesi yanı sıra tam kontrollü bitki fabrikalarında da üretilmesi verim ve performansını en üst seviyeye getirebilmektedir. Mikro yeşilliklere talebin hızla artmasının en önemli nedeni, insan beslenmedeki faydalarının belirlenmesinden kaynaklanmaktadır. Mikro yeşilliklerin besin içeriklerinin, aynı bitkilerin normal tüketilen kısımlarına göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle sindirilebilirlik seviyelerinin yüksek olması besin alımını kolaylaştırmaktadır. Besin alımına ek olarak, insan bünyesinin bazı işlevlerini iyileştirebilen ve/veya hastalık riskini azaltabilen biyoaktif bileşikler sağlayabilirler. Vitamin (C, E ve K) ve karotenoid (β -karoten, lutein ve zeaksantin) içerikleri üzerine yapılan çalışmalarda, standart ticari olgunlaşma aşamasında hasat edilen normal sebzelerle karşılaştırıldığında mikro yeşilliklerin on kat daha fazla antioksidan bileşik içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Mikro yeşilliklerin ortalama altı kat daha yüksek C vitamini, 400 kat daha yüksek E vitamini ve 60 kat daha yüksek K vitamini içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışmada mikro yeşilliklerin tanımı, üretim yöntemleri ve besin değerleri hakkında bilgiler verilecektir.

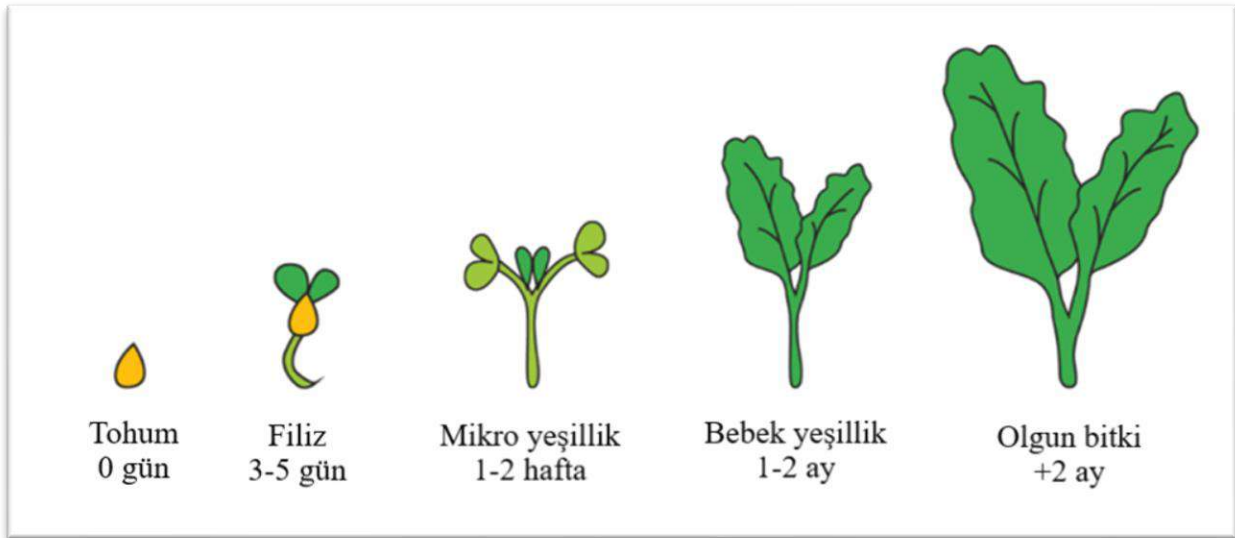
Anahtar Kelimeler : Mikro yeşillik, üretim, besin içerikleri.

1. GİRİŞ

⁴ Sorumlu yazar

Her geçen gün insan beslenmesinde farklı yaklaşımlar oluşmaktadır. Bu yeni yaklaşımların tamamı daha iyi ve daha sağlıklı beslenmeyi hedeflemektedir. Yoğun iş yaşamı, şehirleşme ve stresli yaşam koşulları insanların beslenme alışkanlıklarını da değiştirmektedir. Bu nedenlerden dolayı insanlar daha yoğun içerikli besinlere yönelmeye başlamıştır. Bu yoğun besin kavramından kasıt, içeriğinde daha fazla vitamin, mineral, antioksidan madde bulundurmasıdır (Galaverna vd., 2008). Özellikle yoğun yaşamın getirdiği düşük bağışıklık sorununun artırılması hedeflenmektedir. Bu kapsamda çok sayıda firmanın piyasaya sürmüş olduğu onlarca gıda takviyesi ya da ilaç bulunmaktadır. Kimyasal yöntemlerle hazırlanan bu ürünlerin sürekli kullanımı fizyolojik sorunlara neden olabilmektedir. Bu nedenle sentetik olan bu ürünlerin doğal alternatiflerinin tüketilmesi önem kazanmaktadır (Yavaşer, 2011).

Bu kapsamda, kullanılabilir ürünlerden biriside mikro yeşillikler olarak karşımıza çıkmaktadır. Mikro yeşillikler, tam gelişmiş kotiledon yaprağı, tam gelişmemiş gerçek yaprak ve merkezi bir gövdeye sahip küçük bitkiler olarak tanımlanır (Zhang vd., 2020). Diğer bir ifade ile çimlenmenin ardından ilk gerçek yaprak oluşmaya başladığı bitki dönemi olarak kabul edilir. Mikro yeşilliklerin son 10-15 yıl içerisinde mutfak kültüründe ve restoranlarda popülerlik kazanmıştır (Xiao vd., 2012, Di Gioia vd., 2021, Katsenios vd., 2021, Pinto vd., 2015, Mir vd., 2017). Mikro yeşillik ile zaman zaman mikro filiz ve bebek bitki kavramları karışmaktadır. Karanlık bir ortamda tohumun çimlendirilerek sadece sürgün oluşturması, kotiledonların oluşma aşamasında hasat edilen ürünlere “mikro filiz” denilmektedir. Genellikle bunlarda pigment sentezi ışık olmadığı için görülmemektedir (Ebert, 2022). Mikro yeşillikler ise çimlenmeden sonra ışıklı ortamda yetiştirilen kotiledon yaprakları ve yeni oluşmuş gerçeği bulunan bitkileri tanımlar (Riggio vd., 2019, Verlinden, 2020) Mikro yeşilliklerin kısa bir süre daha büyütülmesi sonucunda oluşan, yetişmiş iki gerçek yaprağı bulunan bitkilere de “bebek yeşillik” adı verilmektedir (Di Gioia vd., 2017) (Şekil 1). Bu üç bitki grubunun birbirinden farklılıkları Çizelge 1’de açıklanmıştır.



Şekil 1 Filiz, mikro yeşillik, bebek yeşillik ve olgun gitki farklılıkları (Anonim, 2023).

2. HER BİTKİDEN MİKRO YEŞİLLİK ÜRETİLEBİLİR Mİ?

Mikro yeşillikler üretmek için en yaygın olarak kullanılan sebze türleri, aralarında Brassicaceae (örneğin karnabahar, brokoli, lahanası, Çin lahanası, kara lahanası, Savoy lahanası, rappini veya brassica raab, su teresi, mizuna, turp, roka, hardal ve tatsoi), Asteraceae (örneğin marul, hindiba, hindiba, kırmızı kıvırcık), Apiaceae (dereotu, havuç, rezene, kereviz), Amaryllidaceae (sarımsak, soğan, pırasa), Amaranthaceae (amaranth, kırmızı orach, İsviçre pazısı, pancar, ıspanak) ve Cucurbitaceae'nin (kavun, salatalık, kabak) bulunduğu birkaç familyaya aittir. Mikro yeşillikler üretmek için yaygın olarak kullanılan diğer otsu türler arasında tahıllar (yulaf, yumuşak buğday, sert buğday, mısır, arpa, pirinç), kinoa (genellikle tahıllara benzetilir ancak Amaranthaceae familyasına aittir), baklagiller (nohut, yonca, fasulye, yeşil fasulye, çemen otu, bakla, mercimek, bezelye, yonca), yağlı bitkiler (ayçiçeği) ve hatta keten gibi lifli bitkiler ve fesleğen, frenk soğanı, kişniş ve kimyon gibi birçok aromatik tür bulunur (Di Gioia vd., 2015).

Çizelge 1. Filizler, mikro yeşillikler ve “küçük yapraklı” sebzeler arasındaki farklar (Di Gioia vd., 2017).

	Mikro filizler	Mikro yeşillikler	Bebek yeşillikler
	4–10 gün	7–28 gün	20–40 gün
Yenilebilir kısımları	Kökler dahil tüm filiz	Kotiledonlu sürgünler ve kökleri olmayan gerçek yaprakların ilk belirtileri	Köksüz gerçek yapraklar ve yaprak sapları
Büyüme sistemi	Topraksız: Yetiştirme ortamı kullanılmadan sadece su gereklidir	Çoğunlukla topraksız: yetiştirme ortamına ihtiyaç vardır	Topraklı veya topraksız: yetiştirme ortamı gereklidir
Büyüme ortamı	Işığa ihtiyaç duymaz	Işık gerektirir, kısmen karanlıkta yetiştirip ışığa alınabilir	Işık gerektirir
Besin gereksinimi	Gerekli değil	Büyüyen ortam besin maddesi sağlamıyorsa az miktarda gereklidir	Her zaman gerekli
Tarımsal kimyasalların kullanımı	Gerekli değil	Gerekli değil	Gerekli
Hasat sırasında bitkinin gelişim aşaması	Kotiledon yapraklarının tam olarak gelişmesinden önce	Kotiledonların tam gelişimi ile ilk gerçek yaprakların ortaya çıkması arasında	İlk gerçek yaprakların tam gelişimi ile sekiz gerçek yapraklı aşama arasında
Hasat	Kesmeden	İsteğe bağlı olarak keserek veya kesmeden	Keserek

Gerçekten de, yenilebilirliği iyi bilinen tüm türleri kullanmak mümkündür, ancak fideleri yenilebilir olmayan tüm yabancı veya evcil türleri hariç tutmalısınız. Bunlar arasında örneğin

domates, biber ve patlıcan gibi Solanaceae familyasına ait türler fide aşamasında anti-besinler içerir ve bu nedenle yenilebilir olarak kabul edilemez. Bir türün yenilebilir olduğu değerlendirildikten sonra, ürün tüketici için tamamen kabul edilebilir ve çekici olmak için iyi bir lezzetliliğe de sahip olmalıdır. Lezzet, koku, doku ve renk aslında ürünün tüketici tarafından kabul edilebilirliği için temel özelliklerdir ve ticari düzeyde mikro yeşillik üreten şirketler her zaman çekici şekiller, parlak renkler, yeni ve özel lezzetlerle karakterize edilen yeni türler aramaktadır (Di Gioia vd., 2015). Görsel açıdan en belirgin kriter renktir. Renklerine göre mikro yeşilliklerin sınıflandırılması Çizelge 2’de verilmiştir.

3. İNSAN BESLENMESİNE KATKISI

Mikro yeşillikler, insan vücudunda antioksidan görevi gören karotenoidler ve fenolik bileşikler de dahil olmak üzere vitaminler (örneğin C vitamini), mineraller (örneğin bakır ve çinko) ve fitokimyasallar açısından zengindir (Zhang vd., 2021). Mikro yeşilliklerin orta ila iyi seviyede protein, diyet lifi ve temel element kaynakları olduğu bilinmektedir (Ghoora vd., 2020)

25 farklı türe ait mikro yeşillikteki vitamin (C, E ve K) ve karotenoid (β -karoten, lutein ve zeaksantin) konsantrasyonlarının incelendiği bir çalışma, standart ticari olgunlaşma aşamasında hasat edilen normal sebzelerle karşılaştırıldığında mikro yeşilliklerin on kat daha fazla antioksidan bileşik içeriğine sahip olduğunu belirlenmiştir. (Xiao vd., 2012). Bu çalışmada, kırmızı lahanada, yukarıda belirtilen vitaminlerin mikro yeşilliklerdeki miktarları, aynı türün normal olgunlaşma aşamasında hasat edilen örnekleri için literatürde bildirilen miktarlarla karşılaştırıldığında, mikro yeşilliklerin ortalama altı kat daha yüksek C vitamini içeriğine (147'ye karşı 23,5 mg/100 g taze ürün), 400 kat daha yüksek E vitamini değerine (24,1'e karşı 0,06 mg/100 g taze ağırlık) ve 60 kat daha yüksek K vitamini içeriğine (2,4'e karşı 0,04 μ g/g taze ağırlık) sahip olduğu görülmüştür (Xiao vd., 2012).






Brassica cinsine ait beş mikro yeşillik ürününde polifenol içerikleri ile ilgili yapılan bir çalışmada, başta kuersetin, kaempferol, siyanadin aglikonları ve kompleks hidroksisinnamik ve benzoik asitler olmak üzere 165 fenolik bileşik bulunmuştur. Bu fenolik maddelerin, olgun bitki benzerlerine kıyasla daha karmaşık polifenol profilleri ve daha fazla polifenol çeşitliliği belirlenmiştir (Sun vd., 2013).

Yine *Brassicaceae* familyasından 30 türe ait mikro yeşilliklerde makro elementlerden K ve Ca ile mikro elementlerin Fe ve Zn bakımından oldukça zengin olduğu (Xiao vd., 2016); ayrıca orta ila mükemmel düzeyde askorbik asit, fillokinon, karotenoidler, tokoferoller, glukozinolatlar ve polifenol kaynakları olduğu bildirilmiştir (Xiao vd., 2019).

Çizelge 2 Renklerine göre gruplandırılmış bazı mikro yeşillik türleri (Di Gioia vd., 2015).

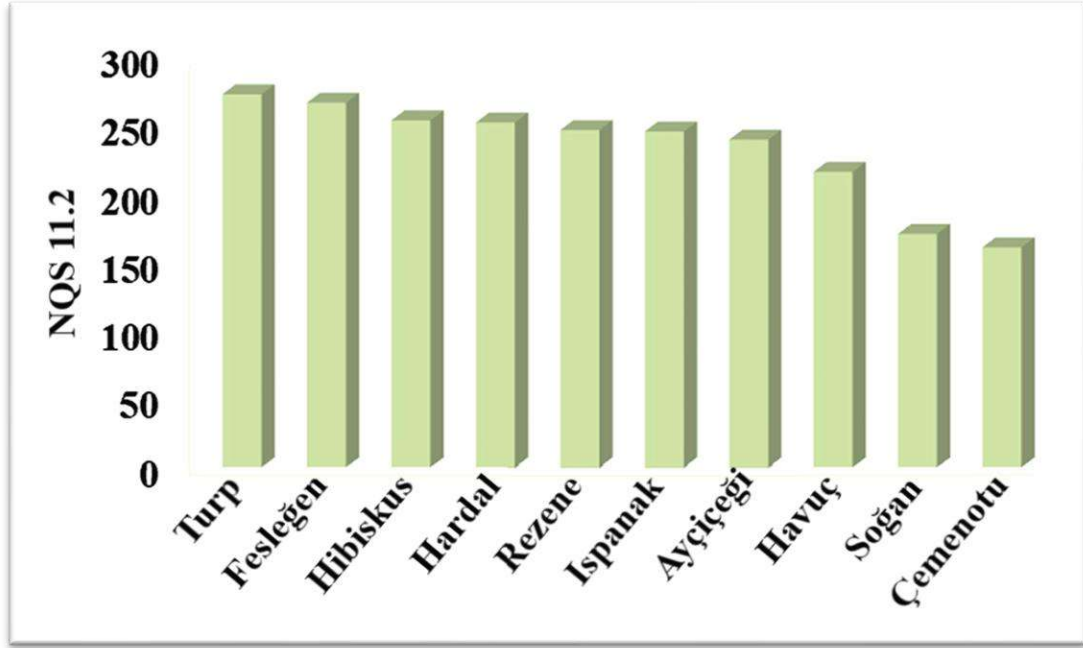
YEŞİL

KOYU KIRMIZI

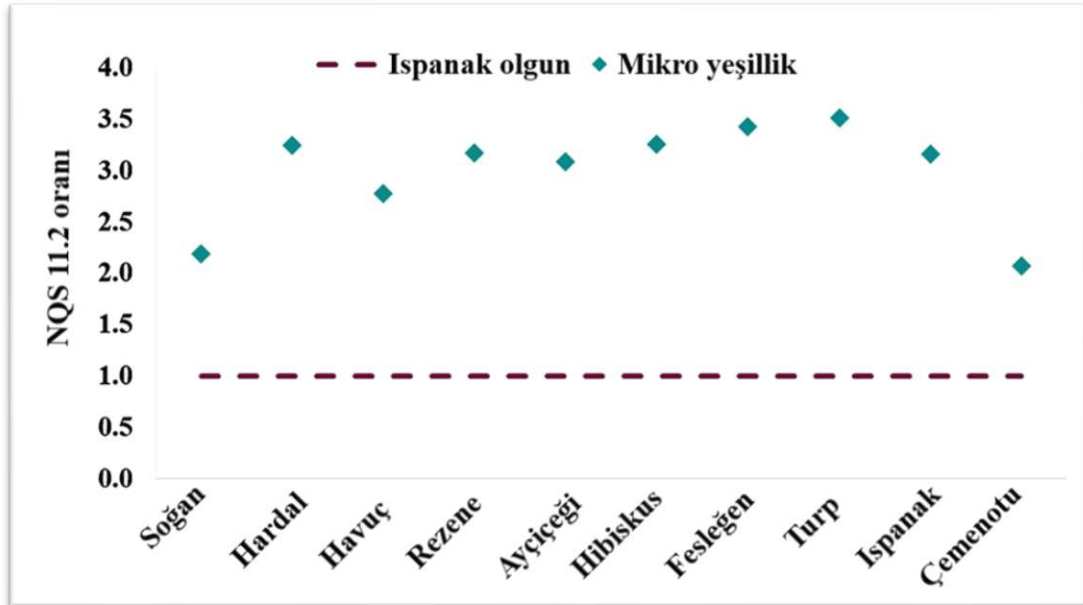
Brokoli, turp, roka, kereviz, ıspanak	Kırmızı lahana, kırmızı fesleğen, turp
	
SARI Etiolize bezelye, etiolize mısır	ÇOK RENKLİ Pancar, kuzukulağı, hardal
	
KIRMIZI Kırmızı orach, amaranth, chenopodium	
	

On farklı türdeki mikro yeşilliklerdeki besin içeriklerinin incelendiği bir çalışmada da, mikro yeşilliklerin askorbik asit, E vitamini ve beta-karoten (pro-vitamin A) için mükemmel kaynaklar olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada, ilgili vitaminlerin günlük referans alımının askorbik asit için %28-116'sını, E vitamini için %28-332'sini ve beta-karoten için %24-72'sini karşılamaktadır. Çalışma, mikro yeşilliklerde bir anti-besin olan oksalik asitin düşük seviyelerini ortaya koymuştur. Ayrıca besin maddesi kalite puanı (NQS 11.2) değerlendirmesine göre, turp mikro

yeşilliklerinin en fazla besin yoğunluğuna sahip olduğu, ardından fesleğeni ve hibiscus mikro yeşilliklerinin geldiği bulunmuştur (Şekil 2). En az besin yoğunluğuna sahip mikro yeşillikler çemen otu ve soğan olduğu belirlenmiştir. NQS 11.2, tüm mikro yeşilliklerin benzer koşullar altında yetiştirilen ıspanak olgun yapraklarından 2-3,5 kat daha fazla besin yoğunluğuna sahip olduğunu göstermiştir (Şekil 3) (Ghoora vd., 2020).



Şekil 2. On farklı türe ait besin maddesi kalite puanı (Ghoora vd., 2020)



Şekil 3. Tüm mikro yeşilliklerin benzer koşullar altında yetiştirilen ıspanak olgun yapraklarında göre besin maddesi kalite puanı katsayısı (Ghoora vd., 2020)

4. KAYNAKÇA

- Anonim (2023). What are Baby Greens? <https://greensbali.com/what-are-baby-greens/>. Er,işim tarihi: 10/12/2024.
- Di Gioia F, Leoni B, Santamaria P (2015) The selection of the species to grow. In: Di Gioia F, Santamaria P (eds) *Novel Fresh and Functional Food to Explore all the Value of Biodiversity*, p: 25-40, Bari, Italy. ISBN: 978-88-909289-3-2.
- Di Gioia, F., Petropoulos, S. A., Ferreira, I. C., & Roskopf, E. N. (2021). Microgreens: from trendy vegetables to functional food and potential nutrition security resource. In *III International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics: Innovation and Advanced Technology for Circular Horticulture 1321* (pp. 235-242).
- Di Gioia, F., Renna, M., & Santamaria, P. (2017). Sprouts, microgreens and “baby leaf” vegetables. *Minimally processed refrigerated fruits and vegetables*, 403-432.
- Ebert, A. W. (2022). Sprouts and microgreens—Novel food sources for healthy diets. *Plants*, *11*(4), 571.
- Galaverna, G., Di Silvestro, G., Cassano, A., Sforza, S., Dossena, A., Drioli, E., & Marchelli, R. (2008). A new integrated membrane process for the production of concentrated blood orange juice: Effect on bioactive compounds and antioxidant activity. *Food chemistry*, *106*(3), 1021-1030.
- Ghoora, M. D., Babu, D. R., & Srividya, N. (2020). Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens. *Journal of Food Composition and Analysis*, *91*, 103495.
- Katsenios, N., Christopoulos, M. V., Kakabouki, I., Vlachakis, D., Kavvadias, V., & Efthimiadou, A. (2021). Effect of pulsed electromagnetic field on growth, physiology and postharvest quality of kale (*Brassica oleracea*), wheat (*Triticum durum*) and spinach (*Spinacia oleracea*) microgreens. *Agronomy*, *11*(7), 1364.
- Mir, S. A., Shah, M. A., & Mir, M. M. (2017). Microgreens: Production, shelf life, and bioactive components. *Critical reviews in food science and nutrition*, *57*(12), 2730-2736.
- Pinto, E., Almeida, A. A., Aguiar, A. A., & Ferreira, I. M. (2015). Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces. *Journal of Food Composition and Analysis*, *37*, 38-43.
- Riggio, G. M., Wang, Q., Kniel, K. E., & Gibson, K. E. (2019). Microgreens-A review of food safety considerations along the farm to fork continuum. *International journal of food microbiology*, *290*, 76-85.
- Sun, J., Xiao, Z., Lin, L. Z., Lester, G. E., Wang, Q., Harnly, J. M., & Chen, P. (2013). Profiling polyphenols in five Brassica species microgreens by UHPLC-PDA-ESI/HRMS n. *Journal of agricultural and food chemistry*, *61*(46), 10960-10970.
- Verlinden, S. (2020). Microgreens: Definitions, product types, and production practices. *Horticultural reviews*, *47*, 85-124.
- Xiao, Z., Codling, E. E., Luo, Y., Nou, X., Lester, G. E., & Wang, Q. (2016). Microgreens of

- Brassicaceae: Mineral composition and content of 30 varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, 87-93.
- Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y., & Wang, Q. (2012). Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *Journal of agricultural and Food Chemistry*, 60(31), 7644-7651.
- Xiao, Z., Rausch, S. R., Luo, Y., Sun, J., Yu, L., Wang, Q., ... & Stommel, J. R. (2019). Microgreens of Brassicaceae: Genetic diversity of phytochemical concentrations and antioxidant capacity. *LWT*, 101, 731-737.
- Yavaşer, R. (2011). *Doğal ve sentetik antioksidan bileşiklerin antioksidan kapasitelerinin karşılaştırılması* (Master's thesis, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Zhang, X., Bian, Z., Yuan, X., Chen, X., & Lu, C. (2020). A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microgreens. *Trends in food science & technology*, 99, 203-216.
- Zhang, Y., Xiao, Z., Ager, E., Kong, L., & Tan, L. (2021). Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture. *Journal of Future Foods*, 1(1), 58-66.

DETERMINATION OF THE PHYSICAL AND TEXTURAL PROPERTIES OF BREADS MADE WITH PURPLE WHEAT FLOUR

Asst. Prof., Hümeyra ÇETİN BABAOĞLU¹

¹ Selçuk University, Agriculture Faculty, Food Engineering Department,
humeyracetin@selcuk.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-9115-6470

ABSTRACT

This study aimed to determine the physical and textural properties of breads made with purple wheat flour (PF). Three different formulations were used: the control group (WB), produced with 100% white wheat flour (WF); bread samples produced with 50% W and 50% P (WPB); and bread samples produced with 100% P (PB). The addition of PF increased the water absorption and degree of softening of the flour while reducing its stability value. Looking at the extensogram results, it can be seen that energy, extensibility, and resistance to extension values decreased in the PF-added flour mixture and PF sample compared to the control sample. The lowest specific volume value (1.75 mL/g) was observed in the PB sample ($p < 0.05$). The differences in moisture content among the bread samples were not statistically significant ($p > 0.05$). While PF addition did not affect the a^* values of bread crusts, the lowest L^* (50.35) and b^* (26.33) values were determined in the PB sample ($p < 0.05$). The differences in b^* values of bread crumbs were found to be statistically insignificant ($p > 0.05$). The lowest L^* value (52.95) and the highest a^* value (7.06) of bread crumbs were observed in the PB sample ($p < 0.05$). WPB and PB samples had larger pores compared to the control sample ($p < 0.05$). The highest hardness (8620.84 g) and chewiness (3218.07 g.mm) values were observed in the PB sample ($p < 0.05$). The differences in springiness and cohesiveness values among the bread samples were not statistically significant ($p > 0.05$).

Key Words: Color, farinograph, specific volume, hardness, pore area

1. INTRODUCTION

Bread, being a widely consumed food, can serve as a good carrier for daily recommended intake of protein, minerals, vitamins, and fibre. Bread provides 10–20% of the required daily calories, approximately 20% of simple and complex carbohydrates, around 20% of dietary fibre, and 11% of protein in the daily diet. White flour is obtained from grains that have been stripped of their husks, seed coats, and embryos (Valieva et al., 2024). While wheat flour is a fundamental ingredient for bread, it becomes nutritionally insufficient in certain aspects when the bran is removed. However, whole grains are not only a significant source of energy and protein in human nutrition but also make a substantial contribution to mineral and B vitamin intake. Additionally, whole grain flours are rich in dietary fibre, phenolic compounds, carotenoids and amino acids. Phenolic acids and flavonoids are the primary phenolic compounds found in cereals. These potent antioxidants are located in the pericarp, seed coat, and germ (Szöke-Trenyik et al., 2023; Valieva et al., 2024). Considering the health benefits of micronutrients, there is increasing interest in

colored grains with high carotenoid content and strong antioxidant effects. Wheat has various color variants, such as white, red, black, blue, purple, and yellow, and the concentrations of bioactive compounds in these variants differ (Szöke-Trenyik et al., 2023). Liu et al. (2024) investigated the phenolic compound composition and antioxidant activities of purple, yellow, red, and white wheats in their study. They found that the wheat with the highest antioxidant activity was purple wheat, followed by red and yellow wheats. White wheat, on the other hand, had the lowest antioxidant activity. When they identified the major phenolic compounds in these wheats, they found that phenolic acids, flavones, and flavonols were present in all of them. Additionally, anthocyanins were only found in purple wheat. They reported that anthocyanins have significant antioxidant activity.

Triticum aethiopicum is an ancient tetraploid purple wheat. It originates from Ethiopia and was discovered near the Red Sea in 1872. It appears partially purple due to the anthocyanins, such as cyanidin-3-glucosides and peonidin-3-glucosides, present in its composition (Szöke-Trenyik et al., 2023). The purple coloration of grains is controlled by two genes situated on distinct genomes; either A and B or A and D. These characteristics are exclusive to tetraploid and hexaploid wheat varieties and are absent in diploid types. Although purple wheat has a starch content similar to that of other commonly consumed wheat varieties, its protein content is higher, ranging from approximately 12-18%. However, when comparing wholegrain flours from common wheat, spelt wheat, and purple wheat, it has been reported that purple wheat flour has lower gluten quality. (Posadzka et al., 2024). The anthocyanin content of purple wheat wholegrain flour varies between 96–235 µg/g, depending on the variety and growing conditions. However, the bran contains approximately twice as much anthocyanin (430 µg/g) compared to the wholegrain flour (Gamel et al., 2019). Since the purple pigments are predominantly found in the pericarp layer, it is recommended to consume it as whole wheat flour to preserve these antioxidant-rich compounds. Phenolic compounds, in addition to their antioxidant effects, also possess anti-inflammatory, antimicrobial, and anticancer activities. Anthocyanins, which belong to the flavonoid group of phenolic compounds, are known to have effects such as reducing the risk of heart disease, lowering cholesterol, and improving insulin resistance by controlling blood glucose levels (Szöke-Trenyik et al., 2023). Purple wheat is also a good source of iron and zinc (Posadzka et al., 2024).

Purple wheat, like other Ethiopian wheat varieties, can be grown in poor soils. In general, it has characteristics such as early maturation, disease resistance, poor tillering, and low yield (Badaeva et al., 2018). Due to its functional properties, purple wheat has recently gained popularity. It is believed that, with breeding efforts to improve yield and gluten quality while maintaining micronutrient content, purple wheat could become a good alternative for producing functional grain products, especially in recent years when drought has increased, both in our country and globally.

This study aims to determine the effects of purple wheat flour, which is noted for its functional properties and health benefits, on bread quality. Since purple wheat is a tetraploid wheat variety, like durum wheat, it is hypothesized that it may have a negative impact on the physical and textural properties of bread. Therefore, purple wheat flour was substituted for 50% of the white

wheat flour. The produced bread samples were compared in terms of physical and textural quality characteristics with white bread and bread samples made with 100% purple wheat flour.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Materials

The white wheat flour, purple wheat flour (Kappadokia Agriculture Food Ltd. Co., Kırşehir, Türkiye), salt, sugar, and instant yeast used in the study were purchased from local markets. The company from which the purple wheat flour was purchased reports that the wheat used for flour production is a hybrid of ancient Abyssinian wheat (*Triticum aethiopicum*) and emmer wheat (*Triticum dicoccum*).

2.2. Methods

2.2.1. Rheological analysis

The farinograph and extensograph values of the flour samples were determined according to AACC Standard Method No: 54-21 and No: 54-10, respectively (AACC, 2000).

2.2.2. Bread production

Bread production was carried out with three different formulations: 100% wheat flour (WB), 50% wheat flour and 50% purple wheat flour (WPB), and 100% purple wheat flour (PB). For bread preparation, 1.5% salt, 1% sugar, and 1% instant yeast were incorporated into wheat flour or flour blends. Water, as determined by the farinograph, was added, and the mixture was kneaded in a dough mixer for 12 minutes to form bread dough. The dough underwent bulk fermentation for 20 minutes, followed by a 10-minute intermediate fermentation in a fermentation chamber maintained at 30°C with 80% relative humidity. Subsequently, the dough was divided into equal portions, shaped, placed into molds, and allowed to undergo final fermentation for 30 minutes. After fermentation, the dough was taken out of the chamber and baked in an oven at 220°C for 14 minutes, with medium steam applied during the first minute. Figure 1 presents the bread samples.



Figure 1. The external appearance and crumb images of bread samples

(from left to right: bread containing 100% white wheat flour (WB), bread containing 50% white wheat flour and 50% purple wheat flour (WPB), and bread containing 100% purple wheat flour (PB))

2.2.3. Bread analysis

2.2.3.1. Determination of moisture content and measurement of specific volume

The moisture content and specific volume of the bread samples were determined according to AACC Standard Method No. 44-01 and No:10-05.01, respectively (AACC, 2010).

2.2.3.2. Determination of color values of bread samples

The Hunter L^* (lightness), a^* (red-green spectrum), and b^* (yellow-blue spectrum) color parameters of the bread crust and crumb were evaluated using a Minolta CR-300 color measurement device (Konica Minolta, Japan), as described by Peressini and Sensidoni (2009).

2.2.3.3. Determination of the crumb pore structure of bread samples

The crumb pore structure was determined according to the method described by Çetin-Babaoğlu et al. (2023). After cooling at room temperature, the bread samples were sliced, and the slices were scanned using a flatbed scanner (HP LaserJet M1120 MFP, USA). The scanned images were processed with ImageJ software to analyze the pore size distribution in the bread crumb. Initially, pixel values were converted into distance units (cm). Next, the images were transformed into 8-bit grayscale format. A thresholding process was then applied to generate a mask, converting the image into a binary format and simplifying the data. Finally, particle analysis was conducted to assess parameters such as total pore count and pore area.

2.2.3.4. Texture profile analysis

The texture profile analysis of bread samples was conducted using a texture analyzer (TA-TX2i, Stable Micro System, Surrey, UK) following the method proposed by Bourne (1978). The analysis utilized a 30 mm diameter aluminum probe with a test speed of 1.7 mm/s. Bread samples, sliced to a thickness of 3 cm, were compressed to 50% of their original height, and the procedure was repeated with 10-second intervals between cycles. From the resulting force-time graph, parameters such as hardness (F), springiness (t_2/t_1), cohesiveness (A_2/A_1), and chewiness (hardness \times springiness \times cohesiveness) were calculated.

2.2.4. Statistical Analysis

The experiments were conducted in duplicate. All results, presented as the mean of at least three measurements, were analyzed using Minitab 16 software (Minitab Inc., USA) with one-way analysis of variance (ANOVA). Significant differences between group means were determined using Tukey's test at a significance level of $p < 0.05$.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. The Rheological Characteristics of Flour Samples

The rheological characteristics of flour samples are presents in Table 1. Purple wheat flour increased the water absorption and degree of softening of white wheat flour while reducing its

stability value. Examining the extensogram values reveals that with the addition of purple wheat flour, the energy and extensibility values of white wheat flour decreased.

Table 1. The rheological properties of flour mixtures

Characteristics	Flour Samples		
	WF (100%)	WF:PF (50%:50%)	PF (100%)
Water absorption(%)	66.5	68.9	70.6
Dough development time (min)	9.3	9.2	9.5
Dough stability (min)	11.8	7.2	6.5
Degree of softening (BU)	61	88	98
Energy (cm ²)	45	112	69
	90	122	65
	135	102	59
Extensibility (mm)	45	170	125
	90	154	115
	135	133	112
Resistance to extension (BU)	45	320	363
	90	421	391
	135	441	360
Maximum resistance (BU)	45	503	382
	90	617	401
	135	603	367

WF: white wheat flour; WF:PF: a blend consisting of 50% white wheat flour and 50% purple wheat flour; PF: purple wheat flour.

Proteins are considered the most critical components in determining bread-making quality (Aussenac et al., 2001). Variations in dough strength and bread-making performance of wheat flours are largely attributed to differences in the quantity and quality of gluten proteins. Wheat gluten proteins are classified based on solubility into gliadins and glutenins. Glutenins, which are polymeric and soluble in weak acid or alkaline solutions, are divided into high molecular weight (HMW, 80–130 kDa) and low molecular weight (LMW, 35–80 kDa) glutenins via SDS-PAGE. Monomeric gliadins (30–75 kDa), soluble in dilute alcohol, are further categorized into four subgroups: sulfur-poor ω -gliadins and sulfur-rich γ -, β -, and α -gliadins with intra-chain disulfide bonds (Veraverbeke and Delcour, 2002; Yüksel et al., 2011). Glutenins primarily contribute to the elastic properties of dough, while gliadins affect its viscous and cohesive properties. Although tetraploid wheats have higher protein content, their gluten quality and gluten index are not as high as those of bread wheats. In tetraploid wheats, gliadins are the key proteins determining quality. For example, in durum wheats, γ -gliadin 42 and γ -gliadin 45 are crucial for gluten strength and pasta cooking quality. γ -Gliadin 45 is associated with optimal gluten strength and high cooking quality, whereas γ -gliadin 42 indicates weak gluten and lower cooking quality (Yüksel et al., 2011). For hexaploid wheats, the situation is different. Among various flour protein groups, the glutenin fraction is the most closely associated with bread-making quality. High molecular weight glutenin subunits (HMW-GS) and low molecular weight glutenin subunits (LMW-GS) form polymers with different molecular weights through interchain disulfide (S-S) bonds. During mixing, protein aggregates separate physically and/or break non-covalent or covalent bonds. However, during dough resting, the extractability of glutenin decreases as it undergoes repolymerization, increasing dough elasticity. This elasticity increase

reduces extensibility but enhances resistance to stretching (Aussenac et al., 2001). Changes and rearrangements in protein structure during mixing, resting, and even baking directly influence the rheological properties of dough as well as the physical and textural qualities of the bread. The difference in gluten fractions among flour samples partly explains the variation in their rheological properties.

Strong gluten is associated with high water absorption, long development time, long stability, and low softening degree. High stability and low softening degree indicate the dough's resistance to mechanical processing. The development time is influenced by gluten quality and the degree of starch damage (Köksel et al., 2023). In addition to the amount and quality of gluten, dietary fibre additions or the use of whole wheat flour also increase the water absorption of flour. Dietary fibre compounds interact more with water due to their hydroxyl groups, forming hydrogen bonds. This limits gluten hydration, potentially increasing water absorption and extending development time (Lauková et al., 2016). However, high gluten quality is also a factor that can lengthen development time. Therefore, the minimal difference in development times of the flour samples in this study might be related to the high gluten quality of the control flour and the high dietary fibre content of the purple wheat flour. Thus, the decrease in gluten concentration did not negatively affect development time due to the increase in dietary fibre. Bae et al. (2014) reported that bran, a source of dietary fibre, weakens dough gluten networks, leading to a decrease in stability and extensibility. However, in a study conducted by Köksel et al. (2023), the rheological properties of colored whole wheat flours were investigated. According to their results, the farinograph values of purple whole wheat flour were found to be better than those of white wheat flour. In this study, white wheat flour is refined flour with the bran removed, whereas purple wheat flour is whole-grain flour. Therefore, the results differ from those obtained in the study conducted by Köksel et al. (2023).

3.2. The Physical Characteristics of Bread Samples

The physical properties of the bread samples are presented in Table 2. The control bread exhibited the highest specific volume, while the PB sample demonstrated the lowest specific volume ($p < 0.05$). Moisture content differences among the bread samples were statistically insignificant ($p > 0.05$). Regarding crust color, the PB sample had the lowest L^* (brightness) and b^* ((-)blue - (+)yellow) values ($p < 0.05$), while no significant differences were observed in a^* ((-)green - (+)red) values ($p > 0.05$). In the crumb, a decrease in L^* value and an increase in a^* value were noted ($p < 0.05$), with no significant change in b^* value ($p > 0.05$). The number of pores per unit area, the total pore area per unit, and the average area of a pore were calculated for the bread samples. The results showed that the addition of PF increased the total pore area while reducing the number of pores ($p < 0.05$), indicating the formation of a bread crumb structure with larger pores compared to the control bread.

Specific volume varies depending on the volume expansion of the dough during fermentation and the baking parameters (Packkia-Doss et al., 2019). Additionally, ingredients added to the flour also influence bread volume. In particular, dietary fibre additions are generally reported to reduce bread volume, as noted by Lauková et al. (2016). Bran in whole wheat flours is an important source of dietary fiber; however, it is known to have adverse effects on dough

processing and bread quality. The addition of bran leads to increased dough stickiness and bread weight. Furthermore, reductions in mixing and fermentation tolerances, decreases in specific volume, coarser crumb texture, darker crumb color, and reduced crumb softness are also among the negative impacts of bran on dough and bread properties. Bran both dilutes and weakens the gluten network. Additionally, it inhibits protein aggregation during mixing. Due to its high water-binding capacity, bran competes with proteins for water during mixing and subsequently releases the excess retained water during baking, accelerating starch gelatinization and causing a reduction in bread volume. Bran particles destabilize the interface of gas cells, limiting dough expansion. Moreover, rigid and solid bran particles may puncture these gas cells. Solid particles such as bran increase dough density and behave like additional loads in the suspension, thereby increasing the extensional and shear viscosities of the dough, which negatively impacts dough expansion (Le Bleis et al., 2015). Due to the bran content of whole purple wheat flour, a reduction in bread volume is an expected outcome. Furthermore, the weaker gluten quality of purple wheat compared to bread wheat is another reason for the lower specific volume and irregular crumb structure (Yüksel et al., 2011). The pore surface area in bread crumb is influenced by the homogeneity of the crumb structure, the expansion of gas cells during proofing, and the turnover of gas during mixing. The adverse effects of bran on the gluten network and gas cells also impact pore distribution and pore area (Packkia-Doss et al., 2019). In this study, since the comparison is made between refined white flour and purple whole wheat flour, the negative effects of bran on gluten have been clearly observed. However, Köksel et al. (2023) reported that whole wheat bread has a lower specific volume and a better pore structure compared to bread made with purple whole wheat flour.

Table 2. The physical characteristics of bread samples (moisture content, specific volume, colour properties, pore count and pore area)

Characteristics	Bread Samples		
	WB	WPB	PB
Specific volume (ml/g)	2.87 ± 0.04 ^a	2.39 ± 0.07 ^b	1.75 ± 0.02 ^c
Moisture (%)	41.21 ± 0.09 ^a	40.71 ± 0.25 ^a	41.77 ± 0.34 ^a
Crust	<i>L</i> [*]	57.49 ± 1.56 ^a	55.03 ± 0.59 ^{ab}
	<i>a</i> [*]	14.44 ± 0.80 ^a	11.80 ± 0.87 ^a
	<i>b</i> [*]	32.59 ± 0.82 ^a	31.81 ± 0.03 ^a
Crumb	<i>L</i> [*]	76.77 ± 0.32 ^a	62.31 ± 1.88 ^b
	<i>a</i> [*]	-2.47 ± 0.13 ^c	4.87 ± 0.41 ^b
	<i>b</i> [*]	22.26 ± 0.11 ^a	23.00 ± 0.24 ^a
Pore count/cm ²	18.50 ± 0.75 ^a	13.50 ± 0.50 ^b	11.38 ± 0.38 ^b
Total pore area/cm ²	0.43 ± 0.03 ^a	0.43 ± 0.01 ^a	0.45 ± 0.01 ^a
Unit pore area (cm ²)	0.02 ± 0.00 ^b	0.03 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a

WB: bread sample produced with only white wheat flour (control sample); WPB: bread sample produced with the blend consisting of 50% wheat flour and 50% purple wheat flour; PB: bread sample produced with only purple wheat flour.

Superscript letters in the same line means statistical significance ($p < 0.05$).
mean ± std error ($p < 0.05$).

The color differences between the samples related to the color of purple wheat and is an expected outcome. In their study, Saini et al. (2021) reported that the *L*^{*}, *a*^{*}, and *b*^{*} values of purple wheat ranged between 41.83-47.65, 7.77-10.66, and 7.10-11.96, respectively. Similarly, Jiang et al. (2011) found the *L*^{*}, *a*^{*}, and *b*^{*} color values of white winter wheat to be 57.6, 1.7, and 21.1,

respectively. Additionally, the use of de-branned flour in this study was a factor that increased brightness, as wheat bran has a lower L^* value and higher a^* and b^* values compared to white flour. In the study conducted by Çetin-Babaoğlu (2021), the L^* , a^* , and b^* values for flour were found to be 94.10, -0.94, and 10.38, respectively, while these values for wheat bran were 68.49, 5.80, and 14.52, respectively. In this study, the use of white flour in the control sample and varying proportions of whole purple wheat flour in other samples influenced the color values due to the color pigments from purple wheat. Additionally, comparing bread made with bran-containing flour to bread made with white flour contributed to the observed color differences.

3.3. The Textural Properties of Bread Samples

The hardness, springiness, cohesiveness, and chewiness values of bread samples obtained from texture profile analysis are presented in Table 3. The addition of purple wheat flour increased the hardness and chewiness values of the bread samples ($p < 0.05$). The highest hardness and chewiness values were observed in the PB sample ($p < 0.05$).

Table 3. The textural properties of bread samples

Characteristics	Bread Samples		
	WB	WPB	PB
Hardness (g)	3649.98 ± 34.07 ^c	4210.89 ± 108.66 ^b	8620.84 ± 66.30 ^a
Springiness	0.94 ± 0.01 ^a	0.86 ± 0.05 ^a	0.82 ± 0.06 ^a
Cohesiveness	0.50 ± 0.02 ^a	0.55 ± 0.00 ^a	0.51 ± 0.00 ^a
Chewiness (g.mm)	1723.75 ± 100.17 ^b	2003.62 ± 159.04 ^b	3218.07 ± 166.54 ^a

WB: bread sample produced with only white wheat flour (control sample); WPB: bread sample produced with the blend consisting of 50% wheat flour and 50% purple wheat flour; PB: bread sample produced with only purple wheat flour. Superscript letters in the same line means statistical significance ($p < 0.05$). mean ± std error ($p < 0.05$).

The texture profile analysis of a food is based on the principle of objectively measuring the physical properties associated with deformation, disintegration, and flow of the food under the application of force, which are perceived through the sense of touch, using functions of force, time, and distance. However, measurements remain limited in terms of the properties that can be perceived through the mouth and hands. In fact, texture is a sensory attribute that is perceived, described, and quantitatively evaluated by humans and is inherently multi-parameter. In laboratory, the closest assessment of these properties can be achieved through texture profile analysis (Arendth et al., 2007). Among instrumental analysis methods, Texture Profile Analysis (TPA) is one of the most widely preferred techniques due to its broad applicability to solid and semi-solid foods. TPA demonstrates superior performance compared to other instrumental techniques, owing to its high accuracy and strong correlation with the reference method. TPA instruments simulate the chewing motion by mimicking the human mouth and exhibiting functional characteristics similar to the human jaw (Mabrouki et al., 2024). Hardness refers to the amount of stress needed to cause a certain level of deformation in a food material. Cohesiveness indicates the internal mechanical strength that holds the material's structure together. Springiness measures the duration it takes for the food to return to its original shape after deformation during unloading. Chewiness describes the transition of the sample from a chewable state to a swallowable one (Zhang et al., 2022). Due to its negative effects on gluten, bran can also adversely affect the texture of bread. The addition of whole wheat flour or dietary

fibre to bread reduces the specific volume, leading to a denser, firmer, and more compact crumb structure. This results in a decrease in crumb elasticity and cohesiveness, while increasing the hardness and chewiness values of the bread (Le Bleis et al., 2015). Therefore, it is expected that purple wheat flour, which is rich in bran and dietary fiber, will increase the hardness and chewiness values of the bread samples.

CONCLUSION

Purple wheat is an important wheat variety known for its beneficial effects on health. The anthocyanins it contains are highly valuable for human nutrition. Although it is not widely consumed in our country, its value is increasingly recognized through recent studies on colored wheat. Considering that wheat is the most commonly consumed cereal, we are becoming more aware of the need to use the healthiest forms of wheat. Although this study shows that some properties of bread samples were negatively affected when purple wheat was compared to white bread, it is important to note that the purple wheat flour used was in its whole wheat form. It is already known that whole wheat flours can negatively affect certain physical and textural properties compared to white flours. There is a need to increase efforts to promote the production and use of purple wheat flour. By substituting purple wheat flour for whole wheat flour, certain rheological and functional properties of flours can be enhanced. Additionally, functional baking products can be produced by incorporating purple whole wheat flour into the formulations.

REFERENCES

- AACC, Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, US, 2000.
- AACC, International Approved Methods of Analysis St. Paul, MN, USA, 2010.
- Aussenac, T., Carceller, J.C., Kleiber, D., Changes in SDS Solubility of Glutenin Polymers During Dough Mixing and Resting, *Cereal Chemistry*, 78(1), 39-45, 2001.
- Arendth, E.K., Ryan, L.A.M., Dal Bello, F., Impact of sourdough on the texture of bread, *Food Microbiology*, 24(2), 165-174, 2007.
- Badaeva, E.D., Shishkina, A.A., Goncharov, N.P., Zuev, E.V., Lysenko, N.S., Mitrofanova, O.P., Dragovich, A.Y., Kudriavtsev, A.M., Evolution of *Triticum aethiopicum* Jakubz. from the Position of Chromosome Analysis, *Russian Journal of Genetics*, 54(6), 629-642, 2018.
- Bae, W., Lee, B., Hou, G.G., Lee, S., Physicochemical characterization of whole-grain wheat flour in a frozen dough system for bake off technology, *Journal of Cereal Science*, 60(3), 520-525, 2014.
- Bourne, M.C. Texture profile analysis, *Food Technology*, 32(7), 62-72, 1978.
- Çetin-Babaoğlu, H., *Determination of the Quality and Functional Characteristics of Breads, Which Contain Dephytinized Wheat Bran, Produced with the Addition of Sourdough*, Master's Thesis, Selcuk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Konya, 2021.
- Çetin-Babaoğlu, H., Arslan-Tontul, S., Karaduman, L., Üzgü, Y., The usage of sourdough powder as the natural preservative and glycemic index lowering agent in salty muffins, *British Food Journal*, 125(10), 3573-3584, 2023.
- Gamel, T.H., Wright, A.J., Pickard, M., Abdel-Aal, E.M., Characterization of anthocyanin-containing purple wheat prototype products as functional foods with potential health benefits, *Cereal Chemistry*, 97, 34-38, 2019.

- Jiang, H., Martin, J., Okot-Kotber, M., Seib, P.A., Color of Whole-Wheat Foods Prepared from a Bright-White Hard Winter Wheat and the Phenolic Acids in Its Coarse Bran, *Journal of Food Science*, 76(6), 2011.
- Köksel, H., Çetiner, B., Shamanin, V.P., Tekin-Çakmak, Z.H., Pototskaya, I.V., Kahraman, K., Sağdıç, O., Morgounov, A.I., Quality, Nutritional Properties, and Glycemic Index of Colored Whole Wheat Breads, *Foods*, 12(18), 3376, 2023.
- Lauková, M., Kohajdová, Z., Karovičová, J., Effect of incorporating potato dietary fibre to wheat dough on the quality of baked rolls, *Acta Chimica Slovaca*, 9(1), 14-18, 2016.
- Le Bleis, F., Chaunier, L., Chiron, H., Valle, G.D., Saulnier, L., Rheological properties of wheat flour dough and French bread enriched with wheat bran, *Journal of Cereal Science*, 65, 167-174, 2015.
- Liu, Q., Qiu, Y., Beta, T., Comparison of Antioxidant Activities of Different Colored Wheat Grains and Analysis of Phenolic Compounds, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58 (16), 2010.
- Mabrouki, S., Abid, K., Kaihara, H., Patrucco, S.G., Tassone, S., Barbera, S., Assessing texture profile analysis in natural state *versus* texture profile analysis with back extrusion post-homogenization of cooked pea protein-based and meat patties: A comparative study, *Future Foods*, 9, 100345, 2024.
- Packkia-Doss, P.P., Chevallier, S., Pare, A., Le-Bail, A., Effect of supplementation of wheat bran on dough aeration and final bread volume, *Journal of Food Engineering*, 252, 28-35, 2019.
- Peressini, D., Sensidoni, A., Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs, *Journal of Cereal Science*, 49(2), 190-201, 2009.
- Posadzka, Z., Pycia, K., Kaszuba, J., Comparison of the baking value of wholegrain fours from diferent wheat types and pigmentation, *European Food Research and Technology*, 250, 1853-1864, 2024.
- Saini, P., Kumar, N., Kumar, S., Mwaurah, P.W., Singh, V., A study of moisture dependent changes in engineering properties and debranning characteristics of purple wheat, *Journal of Food Processing and Preservation*, 45:e15916, 2021.
- Szöke-Trenyik, E., Mihalkó, J., Sipos, P., Szabó, B.P., Development of High-Fibre, Ready-to-Bake Flour Mixtures from Purple Wheat, *Processes*, 11, 389, 2023.
- Valieva, A.I., Akulov, A.N., Rumyantseva, N.I., Phenolic compounds in purple whole-wheat flour and bread: Comparative analysis, *Foods and Raw Materials*, 12(2), 334-347, 2024.
- Veraverbeke, W.S., Delcour, J.A., Wheat Protein Composition and Properties of Wheat Glutenin in Relation to Breadmaking Functionality, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42(3), 179-208, 2002.
- Yüksel, F., Koyuncu, M., Sayaslan, A., Makarnalık Buğday (*Triticum durum*) Kalitesi, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 4(2), 25-31, 2011.
- Zhang, y., Pandiselvam, R., Zhu, H., Su, D., Wang, H., Ai, Z., Kothakota, A., Khaneghah, A.M., Liu, Y., Impact of radio frequency treatment on textural properties of food products: An updated review, *Trends in Food Science & Technology*, 124, 154-166, 2022.

Evaluation of Pollen's Antioxidant Effects on the Oxidative Stability and Quality Attributes of Ground Meat Under Refrigerated Conditions

Tahire Nur SAKSAĞAN*¹

Selçuk University, Agriculture Faculty, Food Engineering Department, Konya, Türkiye –
stahirenur@gmail.com – 0009-0007-5493-1272

Umar Abu HAFS²

Selçuk University, Agriculture Faculty, Food Engineering Department Engineering, Konya,
Türkiye – umarabddhamid28@gmail.com – 0009-0001-8851-3702

Burak GÜNÇAVDI³

Selçuk University, Agriculture Faculty, Food Engineering Department, Konya, Türkiye –
burakguncavdi@hotmail.com – 0009-0009-6563-9650

Ali Samet BABAOĞLU⁴

Selçuk University, Agriculture Faculty, Food Engineering Department, Konya, Türkiye –
asbabaoglu@selcuk.edu.tr – 0000-0003-4643-7454

ABSTRACT

Pollen serves as the reproductive units produced in the male organs of flowering plants. During collection by bees, pollen is combined with glandular secretions, resulting in a sticky and cohesive product. This modified form, commonly referred to as "bee pollen," represents a distinct product with potential biological and nutritional properties. This study aimed to evaluate the effects of pollen on the oxidation and quality characteristics of ground meat stored at refrigerator temperatures. For this purpose, two groups of ground meat samples were prepared: a control group (C) without any addition and a pollen group (P), containing 0.6% pollen. To determine oxidative rancidity in ground meat, TBA analysis was performed, and pH and color analyses were conducted to monitor certain quality parameters. These analyses were carried out on days 1, 3, 6, and 9 of refrigerated storage. The addition of pollen powder significantly reduced the oxidation level in ground meat ($P < 0.05$). The effect of pollen addition on pH values was found to be statistically significant ($P < 0.01$), with lower pH values observed in the pollen group compared to the control. According to the color analysis results, pollen addition did not affect L^* and a^* values ($P > 0.05$). However, its effect on b^* values was statistically significant, with higher b^* values observed in the pollen group compared to the control. This was attributed to the yellow color of the pollen. The results of this study indicate that pollen powder can be used as a natural antioxidant to improve the quality characteristics of ground meat during refrigerated storage.

Anahtar Kelimeler: Antioxidant, ground meat, oxidation, pollen.

1. INTRODUCTION

Meat is an essential food that contains the building blocks of the human body. It stands out from other food groups due to its high levels of protein, minerals, and vitamins, as well as the high bioavailability of these components within the body. Additionally, its color and flavor-enhancing compounds contribute to its nutritional composition. Significant changes occur in lipids and proteins during the storage and processing of meat. Meat and meat products are highly sensitive to microbial and biochemical changes due to their physical and chemical properties, making them perishable foods with relatively short shelf lives (Karagöz ve Candoğan, 2007).

Oxidative reactions represent a key biochemical process that takes place during the processing, storage, and cooking of meat and meat products, playing a significant role in determining product quality and consumer acceptance (Gray ve ark., 1996). Oxidation, in general, is one of the major changes negatively affecting food quality during processing and storage (Friedman, 1996). In meat and meat products, oxidation leads to irreversible chemical changes, adversely impacting quality. Protein oxidation is defined as structural changes in proteins caused by direct reactions with reactive oxygen species or indirect reactions with secondary products resulting from oxidative stress. Protein oxidation in meat and meat products causes changes in the structural properties of proteins, leading to reduced bioavailability and nutritional value, undesirable quality problems in the products, and the formation of potentially toxic compounds, which pose food safety risks. With increasing consumer awareness of the importance of the relationship between health and food consumption habits, there has been a growing trend in the food industry toward natural antimicrobials and antioxidants. In recent years, a significant amount of research has focused on plant-based natural additives. The use of natural additives as antioxidants and antimicrobials, especially in fatty foods like meat and dairy products, is crucial for extending the shelf life of meat products and preventing foodborne illnesses. Spices have been used for centuries to prevent spoilage and undesirable flavors in meats. While enhancing the taste of food, spices also improve its quality. Many spices are known to act as antioxidants in meats, preserving their quality and color while contributing to consumer health. This property of spices is attributed to their ability to reduce the degree of fat oxidation in meat. Fat oxidation is a major factor that diminishes food quality. Natural antioxidants, such as spices, or synthetic antioxidants can be used in foods (Coggins, 2001).

One of the natural antioxidants, pollen, is produced as part of the reproductive process of plants, and its secretion becomes sticky and is dispersed. Its outer walls are highly resistant to chemical and physical attacks, which is a notable advantage. Bee pollen can be consumed directly in the form of pollen pellets or added to various processed products to enhance nutritional value and contribute to the final product's quality. This study aims to observe the positive effects of pollen on lipid oxidation and its ability to slow down oxidation during storage.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

The ground beef utilized in this study was procured from a certified local meat processing facility in Konya to ensure consistency and quality. Medium-fat ground beef (approx. 20% fat) was selected and stored under refrigeration at 4°C for the duration of the analysis. The pollen used in this study was obtained from a market in Konya.

2.2. Preparation of Samples

Initially, the pollen was ground into a fine powder. The ground beef samples were portioned into two groups of 200 g each. These groups were defined as follows: (1) the control group (C), without any additives, and (2) the pollen group (P), with 0.6% pollen powder added. Measurements were performed on predetermined storage intervals (days 1, 3, 6, and 9). During the 9-day storage period, thiobarbituric acid reactive substances (TBA) analysis was conducted to assess lipid oxidation, while pH and color measurements were performed to evaluate quality parameters.

2.3. Determination of TBARS numbers

To determine oxidative rancidity in the samples, specific extraction procedures were followed. Absorbance values of the extracts were measured at 530 nm using a spectrophotometer, and TBARS numbers were calculated as mg malonaldehyde (MA)/kg sample Gökalp et al. (1993).

2.4. Determination of pH

The pH values of the ground beef samples were measured with a pH meter (Testo 205, Titisee-Neustadt, Germany) as described by Lambooij et al. (1999).

2.5. Measurement of Color Parameters

The color parameters of the samples, including L* (lightness), a* (redness), and b* (yellowness), were determined using a colorimeter (CR-400 Minolta Co., Osaka, Japan) as described by Hunt et al. (1991). Color measurements were performed at three distinct points on the sample surface perpendicular to the measurement plane. The mean values were calculated for each parameter to ensure accuracy.

2.6. Statistical Analysis

Statistical analyses were performed using Minitab 16.0 software. The data were expressed as mean \pm standard deviation (SD) and subjected to analysis of variance (ANOVA) to determine the effects of treatment, storage time, and their interaction on the measured parameters. A two-way ANOVA was applied to evaluate the main effects of the pollen addition (treatment) and refrigerated storage duration, as well as their interaction (treatment \times storage). When significant differences were identified, Tukey's multiple comparison test was used to determine pairwise differences between means. Statistical significance was considered at a confidence level of $P < 0.05$, and results with $P < 0.01$ were interpreted as highly significant.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. pH

In the study, pH values of the samples were measured on days 1, 3, 6, and 9 of storage. The results, which show the pH values of the samples, are presented in Figure 3.1. According to the statistical analysis, the main effects of treatment, storage, and the treatment × storage interaction were found to be statistically significant ($P < 0.01$). It was observed that the addition of pollen powder helped maintain a more stable pH in ground meat compared to the control group.

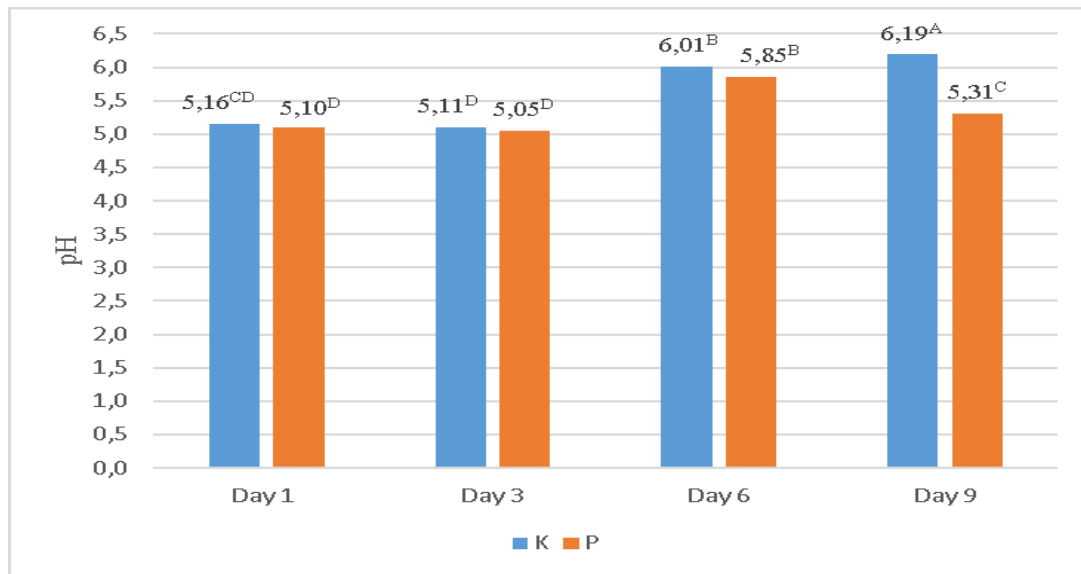


Figure 3.1. pH values of samples throughout refrigerated storage

Regarding storage, the highest average pH value was recorded on day 6, while the pH values on days 1 and 3 were the lowest, with no significant difference observed between them ($P > 0.05$). The results of the treatment × storage interaction showed that the highest pH value was found in the control group on day 9. In the control group, the increase in pH over time was attributed to the formation of basic compounds as a result of oxidation. On the other hand, in the pollen group, the slower oxidation process contributed to maintaining a more stable pH value throughout the storage period.

This study is one of the first to investigate the effects of pollen addition to meat or meat products, as there is limited information available in the existing literature. Therefore, a more detailed examination of the effects of pollen addition on oxidation and quality characteristics of meat products would provide an important avenue for future research.

3.2. TBARS numbers

In this study, TBARS (Thiobarbituric Acid) number analysis was performed to monitor the lipid oxidation levels of the samples. The results, including the average TBARS numbers, are presented in Figure 3.2. According to the statistical analysis, the effects of pollen addition, storage time, and the pollen addition × storage interaction were found to be statistically

significant ($P < 0.01$). The TBARS numbers of the ground meat samples with pollen addition were significantly lower compared to the control group ($P < 0.01$).

As the storage period progressed, an increase in the TBA values was observed in all samples, with the highest TBARS numbers recorded on days 6 and 9 ($P < 0.01$). Specifically, on day 9, the lipid oxidation levels in the ground meat samples containing pollen (P) were significantly lower compared to the control group, indicating the antioxidant effect of pollen in slowing down lipid oxidation (Figure 3.2).

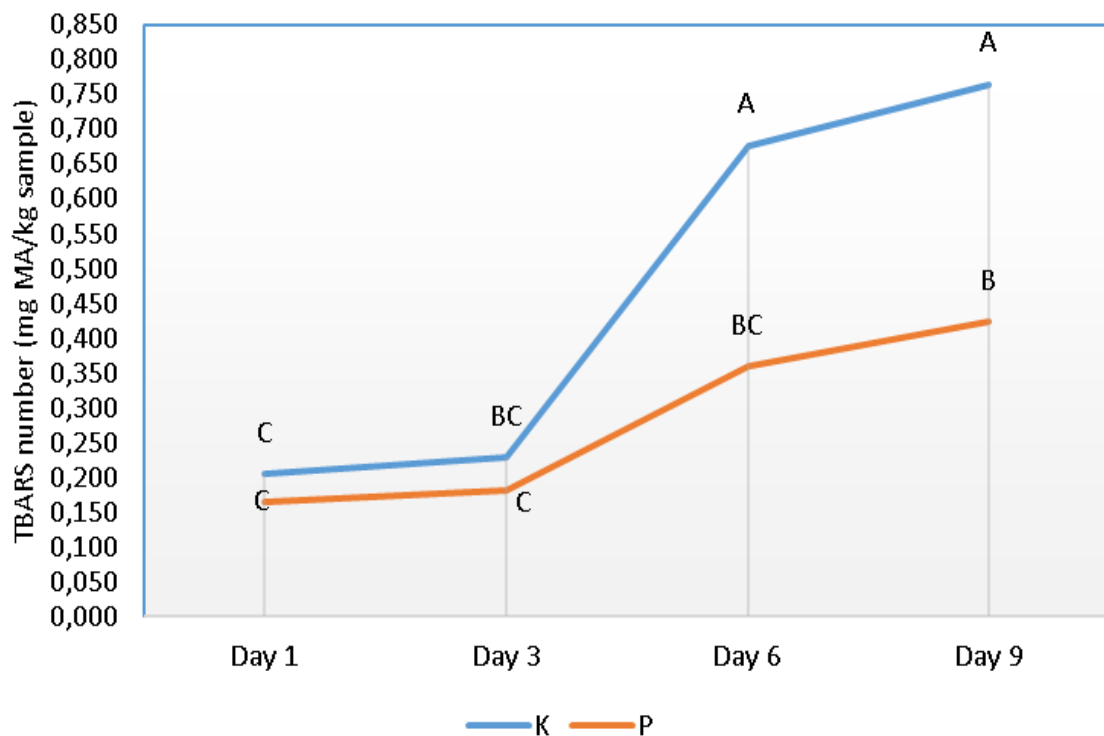


Figure 3.2. TBARS numbers of ground meat samples during refrigerated storage

The findings of this study are in agreement with those of Karataş (2008), who investigated the effect of natural antioxidants on lipid oxidation in quail meat. In that study, lower TBARS numbers were observed in groups supplemented with natural antioxidants compared to the control group, similar to the findings of this study where pollen addition reduced lipid oxidation in ground meat.

Furthermore, Cerit et al. (2016) examined the antioxidant effects of bee pollen added to white chocolate and found that pollen significantly improved the antioxidant capacity and total phenolic content, further supporting the antioxidant potential of pollen. Although this study focused on a different food product, it highlights the strong antioxidant effect of pollen, which is also observed in our study with ground meat.

In conclusion, the addition of pollen powder effectively reduced lipid oxidation in ground meat during refrigerated storage, demonstrating its potential as a natural antioxidant to enhance the shelf life and quality of meat products.

3.3. Color Characteristics

In the study, the color characteristics of the samples (L^* , a^* , b^*) are presented in Table 3.1. According to the statistical analysis results, the effects of treatment, storage period, and treatment \times storage interactions on the brightness value (L^*) were found to be non-significant ($P > 0.05$). This indicates that there were no statistically significant differences in the L^* values of the samples throughout the storage period ($P > 0.05$).

Chart 3.1. Color parameters of ground meat treated with pollen powder

Parameters	Treatment	Storage period (day)			
		1	3	6	9
L^*	K	52.36 \pm 1.60	51.57 \pm 2.07	51.41 \pm 0.30	49.81 \pm 1.76
	P	49.92 \pm 2.12	51.66 \pm 2.37	48.13 \pm 0.31	49.38 \pm 2.01
a^*	K	16.44 \pm 1.60	12.73 \pm 0.09	17.70 \pm 0.22	19.13 \pm 1.14
	P	18.38 \pm 2.01	13.25 \pm 2.08	18.52 \pm 1.87	14.53 \pm 3.01
b^*	K	14.13 \pm 0.74 ^A	11.45 \pm 0.45 ^B	11.17 \pm 0.51 ^B	11.37 \pm 0.40 ^B
	P	14.29 \pm 0.16 ^A	13.00 \pm 0.58 ^{AB}	12.01 \pm 0.36 ^B	12.97 \pm 0.53 ^{AB}

Means that do not share a letter are significantly different. K: control group P: minced meat including pollen powder.

When examining the redness value (a^*), the effects of treatment and treatment \times storage interaction were found to be non-significant ($P > 0.05$), while the effect of storage duration was statistically significant ($P < 0.05$). The highest a^* values were observed on the 1st and 6th days, while the lowest value was found on the 3rd day. Overall, fluctuations in a^* values were observed, which are believed to be due to the stabilizing effect of pollen in preserving its redness value.

Regarding the yellowness value (b^*), statistical analysis revealed that both treatment and storage duration had significant effects ($P < 0.01$), while the treatment \times storage interaction was non-significant ($P > 0.05$). The yellowish color of the pollen suggests that the increase in the b^* value is due to the pollen itself. The highest b^* value was recorded on the 1st day, and a decrease in the yellowness value was observed during the subsequent storage days (3rd, 6th, and 9th). The difference in b^* values between the 3rd, 6th, and 9th days was statistically insignificant ($P > 0.05$).

Sadigzade Zengin (2024) investigated the effect of propolis on the quality of fermented sucuk, performing color analysis on days 7, 12, 30, and 60. The results showed that the brightness value (L^*) fluctuated but was statistically insignificant ($P > 0.05$). The effect of propolis on the a^* value showed a regular decrease on the 7th, 12th, and 30th days, while an increase was observed on the 60th day. In the case of the b^* value, increases and decreases were observed, similar to the a^* value. All of these changes were statistically significant ($P < 0.05$).

In another study by Yöntürk (2017), the effects of pollen on immunological and oxidative/antioxidative parameters in rainbow trout were examined. Statistically significant increases in hematocrit, oxidative radical production, total protein, and immunoglobulin levels were observed in groups treated with pollen compared to the control group ($P < 0.05$). The

chemical analysis results of the chestnut-type pollen used in this study revealed positive antioxidant and antimicrobial effects.

4. CONCLUSION

In this study, the effect of pollen powder on the color and lipid oxidation of minced meat during refrigerated storage was evaluated. The results demonstrated that the addition of pollen significantly influenced the oxidation process and color characteristics of the meat. Pollen-treated samples showed lower TBA values, indicating a reduction in lipid oxidation compared to the control group. This antioxidant effect of pollen was particularly evident on day 9, where the TBA values for the pollen-treated group remained lower than those of the control.

Regarding color parameters, while the brightness value (L^*) did not show significant changes throughout storage, the redness value (a^*) fluctuated, with pollen stabilizing the red hue of the meat. Additionally, the yellowness value (b^*) was significantly affected by both treatment and storage duration, with an increase in yellowness on the first day, likely due to the natural yellow color of pollen.

The results of this study suggest that pollen powder can be an effective natural additive in meat products to enhance their oxidative stability and color retention during storage.

REFERENCES

- 4 Cerit, İ., Şenkaya, S., Tulukoğlu, B., Kurtuluş, M. ve Demirkol, O., 2016, Kızılıklık, Ispanak Ve Polen Tozları Kullanılarak Beyaz Çikolataların Fonksiyonel Özelliklerinin Zenginleştirilmesi, *Gıda*, 41 (5), 311-316.
- 5 Coggins, P. C., 2001, Spices and flavorings for meat and meat products, In: *Meat Science and Applications*, Eds: CRC Press, p. 387-418.
- 6 Friedman, M., 1996, Nutritional value of proteins from different food sources. A review, *Journal of agricultural and food chemistry*, 44 (1), 6-29.
- 7 Gökalp, H. Y., 1993, Et ve ürünlerinde kalite kontrolü ve laboratuvar uygulama kılavuzu.
- 8 Gray, J., Gomma, E. ve Buckley, D., 1996, Oxidative quality and shelf life of meats, *Meat Science*, 43, 111-123.
- 9 Hunt, M., Acton, J., Benedict, R., Calkins, C., Cornforth, D., Jeremiah, L., Olson, D., Salm, C., Savell, J. ve Shivas, S., 1991, Pages 1-17 in *Guidelines for meat color evaluation, Proceedings of 44th Recip. Meat Conf., Manhattan, KS.*
- 10 Karagöz, Z. ve Candoğan, K., 2007, Et teknolojisinde antimikrobiyal ambalajlama, *Gıda*, 32 (3), 113-122.
- 11 Karataş, Ü., 2008, Çoklu doymamış yağ asitlerince zengin etlik bıldırcın karma yemlerine doğal antioksidan ilavesinin besi performansı karkas parametreleri etin kalitesi ve raf ömrü üzerine etkileri, *Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- 12 Lambooi, E., Potgieter, C., Britz, C., Nortje, G. ve Pieterse, C., 1999, Effects of electrical and mechanical stunning methods on meat quality in ostriches, *Meat Science*, 52 (3), 331-337.
- 13 Sadıgzade Zengin, Z., 2024, Fermente sucuk kalite özellikleri üzerine farklı propolis türlerinin etkisinin araştırılması.
- 14 Yöntürk, Y., 2017, Gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*, W.)'nda arı polenin antioksidan ve immunostimulan etkisinin araştırılması, *Fen Bilimleri Enstitüsü.*

MOISTURE SORPTION ISOTHERM OF AMARANTH GRAIN

Sultan ARSLAN TONTUL

Selçuk University, Agricultural Faculty, Food Engineering Department,

sultan.arslan@selcuk.edu.tr 0000-0003-1557-7948

ABSTRACT

The moisture sorption behavior and thermodynamic properties of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) grains were investigated. Prior to experiments, grains were dried at 50°C for 48 hours, achieving a moisture content of 1.45% and water activity of 0.20. Moisture sorption isotherms were determined using saturated salt solutions (CH₃CO₂K, MgCl₂, K₂CO₃, NaBr, NaCl, BaCl₂, K₂SO₄) at 15°C, 25°C, and 35°C. The experimental equilibrium moisture content (EMC) were modeled using BET and GAB equations, with goodness-of-fit evaluated through adjusted R_{adj}² and mean absolute percentage error (E%). Results showed that the sorption isotherms exhibited a Type II sigmoidal shape, consistent with Brunauer's classification, confirming reduced hygroscopicity at higher temperatures. Monolayer moisture content (m₀) ranged between 3.33–5.94 g H₂O/100 g, a critical threshold for food stability. The isosteric heat of sorption (q_{st}), calculated using the Clausius-Clapeyron equation, decreased with increasing moisture content, indicating weakening water-macromolecule interactions. At 4% moisture content, q_{st} reached 12670 kJ/mol and declined as water availability increased. Additionally, adsorption surface area, derived from BET and GAB models, highlighted the grain's water-binding potential, with values ranging from 211.8 to 317.7 m²/g. These findings provide valuable insights for optimizing the storage, drying, and shelf-life stability of amaranth grains.

Keywords: water activity, equilibrium moisture content, isosteric heat, surface area

1. INTRODUCTION

Moisture sorption isotherms describe the correlation between the water activity (a_w) and the equilibrium moisture content (EMC) at constant pressure and temperature. Free and bound water present in the food can be realised by sorption isotherm. Bound water makes the whole hydrogen bonding capacity with hydrophilic groups on the inner surfaces of macromolecules. Water molecules of bound water have strong interaction with matrix that of weak in the free water. Additionally, free water is available for chemical and microbiological reactions whereas bound water is unavailable and do not affect a_w [1, 2]. Furthermore, sorption isotherms are of great importance to know the water sorption mechanism and interactions between food components and water. Therefore, it gives useful information in modelling of the drying process, equipment design and optimisation, predicting the shelf life of product, determining critical moisture level, mixing products with various a_w and the selection of packaging material [3-7].

In recent years, interest and demand for pseudocereals has increased steadily. They have gained importance as alternative raw material instead of traditional and widely used cereal grains such as wheat for human nutrition. Pseudocereals are not a member of the *Gramineae* family, but their grains can be easily milled into flour owing to cereal-like starchy endosperm [8]. Amaranth is

classified as a pseudocereal, and it is widely used in food formulations due to their high nutritional quality. Amaranth is an important protein source containing 12.5-18.5%. Additionally, it has high content of essential amino acids such as lysine, methionine and cysteine which already present limitedly in most cereal grains [9-11]. Recently, amaranth grains have been added in the formulation of various foods to improve nutritional quality and gain the functionality to the end product. This popularity makes important transportation of grains to all over the world since it is harvested mostly in tropical and subtropical regions. When the storage conditions are not optimized, grains can easily deteriorate oxidatively and microbiologically. Sorption isotherms can control unstable storage conditions such as relative humidity, temperature and water activity and moisture content of the product. Therefore, in this study, moisture sorption characteristics of amaranth grain was evaluated.

2. EXPERIMENTAL RESEARCH

2.1. Sorption procedure

Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) grains were purchased from a market. The proximate analysis of grains were determined by the procedure of [12]. Prior to sorption experiments, grains were dried in an oven at 50°C for 48 h. After the drying the moisture content and water activity were determined as 1.45% and 0.20, respectively. Saturated salt solutions of CH₃CO₂K, MgCl₂, K₂CO₃, NaBr, NaCl, BaCl₂, and K₂SO₄ were used in sorption procedure. EMC was determined at 15 °C, 25 °C and 35 °C. The saturated salt solutions were placed in desiccators and conditioned for 7 days prior to sorption experiment. Six samples each of 0.45 g (± 0.01 g) were weighed in beaker and placed in desiccators containing saturated salt solutions. EMC was detected when the samples reached constant weight (±0.001). At high aw of salt solutions (0.6<aw), 2 mL thymol was placed in the desiccators in order to prevent the microbial spoilage of grains.

2.2. Analysis of Experimental Data

The moisture sorption isotherms of grains were determined by plotting of EMC values obtained from each temperature against the corresponding a_w. The description of relationship between EMC, equilibrium relative humidity and temperature was verified according to BET [13] and GAB [14] equation. The curve fitting and regression analysis were performed using a mathematical software program (Origin Lab Corp, Massachusetts, USA). The fittest sorption model was selected by the regarding of minimum mean absolute percentage error (E %), and the maximum degrees of freedom adjusted R-square (R_{adj}²) of the fit.

The net isosteric sorption net isosteric sorption heat is defined by the difference between total isosteric sorption heat and condensation heat. It was calculated by the equation of Clausius-Clapeyron as follows;

$$\frac{d(\ln a_w)}{d\left(\frac{1}{T}\right)} = -\frac{q_{st}}{R}$$

$$q_{st} = Q_{st} - \Delta H_{vap}$$

a_w=water activity; T=Selected temperature; Q_{st}= isosteric heat of sorption; q_{st}= net isosteric heat of sorption; R=8.314 kJ/molK; ΔH_{vap}= 43 kJ/mol

The heat of sorption was determined from the slopes of $\ln a_w$ against $1/T$ plots by linear regression analysis, with the assumption that they are constant over the temperature range studied. Q_{st} is a measure of interaction between water vapor and the adsorbent food material [15].

Adsorption surface area of grains was calculated using monolayer moisture content obtained from BET and GAB equation as follows [4];

$$SA = Xm \times \frac{1}{18 \text{ g/mol}} \times (1.06 \times 10^{-19} \text{ m}^2) \times (6 \times 10^{23} \text{ molecules/mol})$$

3. RESULTS AND DISCUSSION

The moisture sorption isotherm of amaranth grain is presented in Figure 1. The EMC content of grains increased by of a_w due to rising of surrounding vapor pressure of grain led to increase the vapor pressure within. Additionally, grains became less hygroscopic with the increasing sorption temperatures at constant a_w . It could be a result of that when temperature increases, the water molecules gain more activity which leads to an increase in the intermolecular distance due to an increase in their energy level, thus they become less stable and break away easily from the water binding sites of the food. Furthermore, at the highest sorption temperature, each weight of amaranth grain absorbed almost 0.6 times the amount of moisture. The sorption capacity of a material is highly related to chemical composition and structure [1].

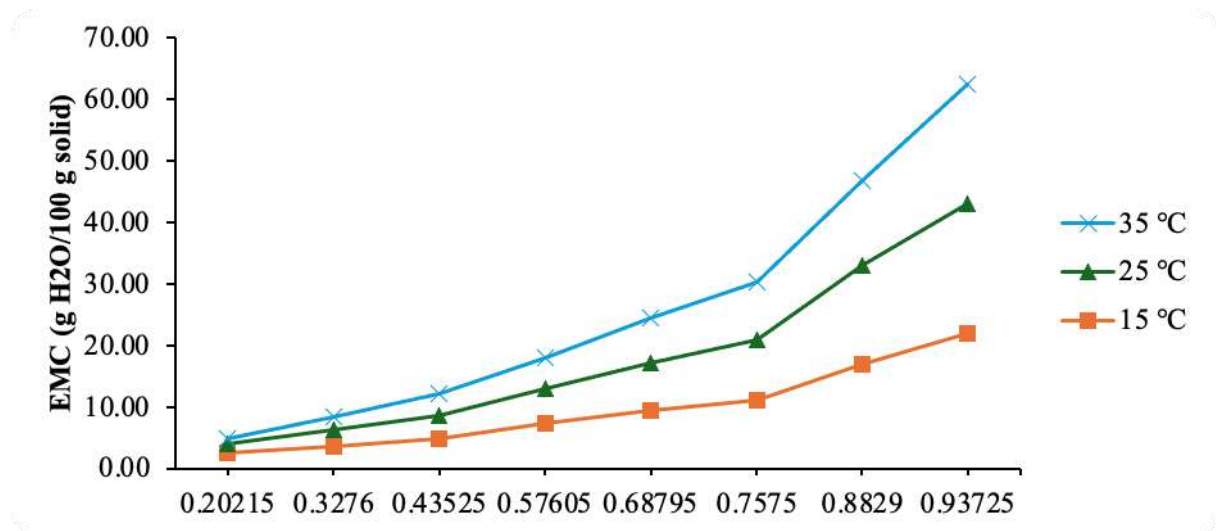


Figure 1. Moisture sorption isotherm of amaranth grain

As can be seen in the Figure 1, the isotherm has sigmoidal shape due to two bending zone at a_w of 0.4352 and 0.67575. It means that the moisture sorption isotherm of amaranth fits to Type II according to Brunauer classification. It was consistent with previous observation made with whole cereal and pseudo-cereal grains [16-19].

The results of the regression analysis for fitting the experimental data to BET and GAB equations are presented in Table 1. The monolayer moisture content (m_0) of amaranth grains were determined as 3.33-5.94 g H₂O/100 g. The m_0 is critical moisture content to control and extend quality shelf life of a food products. At this moisture level, most of the degradation and food spoilage reactions such as enzymatical browning and oxidation, physical changes in food products such as loss of crispiness, caking and stickiness are slow down. Additionally, it helps determination of the surface potential of moisture sorbed in food [19, 20].

Table 1. Model fit parameters, coefficients and monolayer moisture content of amaranth grain

Model type	Temp °C	Model fit parameters		Model coefficients		
		R _{Adj} ²	E %	k	m ₀ (g/100 g)	C
BET	15	0.9135	2.88		3.62	3.85
	25	0.9109	2.55		3.33	2.51
	35	0.5972	7.39		5.94	0.65
GAB	15	0.9482	4.27	0.84	4.82	5.57
	25	0.9862	6.56	0.83	5.03	1.73
	35	0.9050	6.63	0.90	3.41	1.91

In interpreting the fittest equations R_{adj}² and E% were considered. In general, R_{adj}² values greater than 0.98 and E% value lower than 10 are acceptable. According to Table 1, both GAB and BET equation showed good fitness by evaluating E%. However, only GAB equation explaining moisture isotherm of 25 °C was acceptable for R_{adj}². When the model coefficients were evaluated, it was concluded that the C value of both equations, except for the sorption experiment carried out at °C, was less than 1, meaning that the moisture sorption isotherm for amaranth was classified as Type II [20].

Figure 2 shows the isosteric heat (q_{st}) of sorption. It is a useful method for determination the effect of temperature to the foods. The net isosteric heat of sorption can be used to estimate the energy requirements of drying and provides important information on the state of water in foodstuffs [4]. At the lowest moisture content (4%), q_{st} were calculated to be 12670 kJ/mol and tended to decrease with increasing the moisture content. At the high level of moisture content of food, the energy necessary for vaporization is low due to weak hydrophilic bounds of macromolecules and free water. On the contrary during drying, moisture content decreases continuously since only the monolayer moisture is left. As a result of this process, the water molecules become tightly bound to the surface of a food and to the sorption sites with high interaction energies. At the same time, the heat of sorption increases above the heat of vaporization of pure water, making it difficult to remove water from the surface [20, 21].

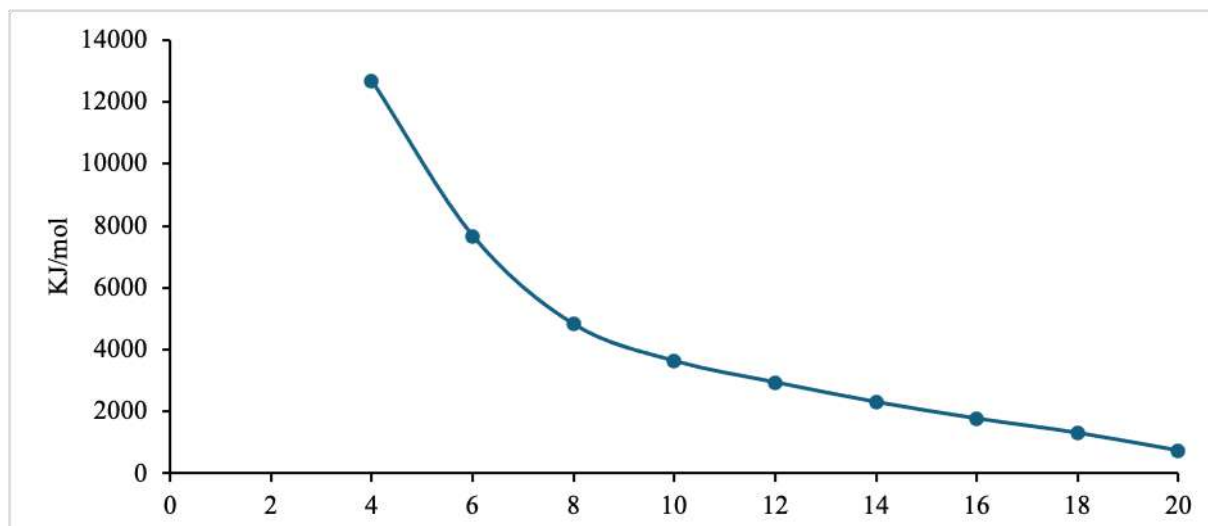


Figure 2. Isosteric sorption heat of amaranth grain

Adsorption surface area of amaranth grains was calculated by m_0 (Table 2). The adsorption surface area of EWP, EYP, and WEP was in the range of 211.8-317.7 m^2/g , 70.6-211.8 m^2/g , and 105.9-282.4- m^2/g , respectively. The water-binding ability of a material is mostly associated with its specific surface area.

Table 2. Adsorption surface area of amaranth grain

Model type	Temp °C	Surface area (m^2/g)
BET	15	127.78
	25	117.54
	35	209.68
GAB	15	170.14
	25	177.55
	35	120.37

REFERENCES

- 15 1. Lazouk, M.A., et al., *Oilseeds sorption isotherms, mechanical properties and pressing: Global view of water impact*. Journal of Food Engineering, 2015. 153: p. 73-80.
- 16 2. Al-Muhtaseb, A.H., W.A.M. McMinn, and T.R.A. Magee, *Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Food Products: A Review*. Food and Bioprocess Processing, 2002. 80(2): p. 118-128.
- 17 3. Chirife, J. and H.A. Iglesias, *Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part I — a review*. International Journal of Food Science & Technology, 1978. 13(3): p. 159-174.
- 18 4. Koua, B.K., et al., *Thermodynamic analysis of sorption isotherms of cassava (Manihot esculenta)*. Journal of Food Science and Technology, 2014. 51(9): p. 1711-1723.
- 19 5. Panjagari, N.R., et al., *Beta-glucan rich composite flour biscuits: modelling of moisture sorption isotherms and determination of sorption heat*. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2015. 52(9): p. 5497-5509.

- 20 6. Soleimanifard, S. and N. Hamdami, *Modelling of the Sorption Isotherms and Determination of the Isothermic Heat of Split Pistachios, Pistachio Kernels and Shells*. Czech Journal of Food Sciences, 2018. 36(3): p. 268-275.
- 21 7. Shanker, N., et al., *Moisture sorption characteristics of ready-to-eat snack food enriched with purslane leaves*. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2019. 56(4): p. 1918-1926.
- 22 8. Haros, C.M. and R. Schoenlechner, *Pseudocereals: chemistry and technology*. 2017: John Wiley & Sons.
- 23 9. Capriles, V., et al., *Effects of processing methods on amaranth starch digestibility and predicted glycemic index*. Journal of food science, 2008. 73(7): p. H160-H164.
- 24 10. Caselato-Sousa, V.M. and J. Amaya-Farfán, *State of knowledge on amaranth grain: a comprehensive review*. Journal of food science, 2012. 77(4): p. R93-R104.
- 25 11. Vujić, L., D.V. Čepo, and I.V. Dragojević, *Impact of dietetic tea biscuit formulation on starch digestibility and selected nutritional and sensory characteristics*. LWT-Food Science and Technology, 2015. 62(1): p. 647-653.
- 26 12. AACC, *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 1999, American Association of Cereal Chemists, Inc, St.: Minnesota, USA.
- 27 13. Aguerre, R.J., C. Suarez, and P.E. Viollaz, *New BET type multilayer sorption isotherms. Part II: Modelling water sorption in foods*. LWT - Food Science and Technology, 1989. 22(4): p. 192-195.
- 28 14. Van den, B., Pre-eminent audiority on the Convention, in his text, 1981: p. 147.
- 29 15. Ayranci, E. and O. Duman, *Moisture sorption isotherms of cowpea (Vigna unguiculata L. Walp) and its protein isolate at 10, 20 and 30 degrees C*. Journal of Food Engineering, 2005. 70(1): p. 83-91.
- 30 16. Arslan-Tontul, S., *Moisture sorption isotherm and thermodynamic analysis of quinoa grains*. Heat and Mass Transfer, 2021. 57(3): p. 543-550.
- 31 17. Arslan-Tontul, S., *Moisture sorption isotherm, isosteric heat and adsorption surface area of whole chia seeds*. LWT, 2020. 119: p. 108859.
- 32 18. Mbarga, M.C.N., et al., *MOISTURE SORPTION ISOTHERMS AND PROPERTIES OF SORBED WATER OF NEEM (Azadirichta indica A. Juss) KERNELS*. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2017. 90(1): p. 35-42.
- 33 19. Singh, K.P., H.N. Mishra, and S. Saha, *Sorption Isotherms of Barnyard Millet Grain and Kernel*. Food and Bioprocess Technology, 2011. 4(5): p. 788-796.
- 34 20. Edrisi Sormoli, M. and T.A.G. Langrish, *Moisture sorption isotherms and net isosteric heat of sorption for spray-dried pure orange juice powder*. LWT - Food Science and Technology, 2015. 62(1, Part 2): p. 875-882.
- 35 21. Kaya, S. and T. Kahyaoglu, *Influence of dehulling and roasting process on the thermodynamics of moisture adsorption in sesame seed*. Journal of Food Engineering, 2006. 76(2): p. 139-147.

MİKRODALGA YÖNTEMİ İLE KURUTULAN TATLI PATATESİN BAZI KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Öğr. Gör. Dr. Senem TÜFEKÇİ

Pamukkale Üniversitesi, Acıpayam Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü,
stufekci@pau.edu.tr - 0000-0002-4613-2418

Prof. Dr. Sami Gökhan ÖZKAL

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü,
sgozkal@pau.edu.tr - 0000-0001-5040-9814

ÖZET

Bu çalışmada mikrodalga kurutma yönteminin tatlı patates örnekleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla 90, 180 ve 360 W olmak üzere üç farklı mikrodalga güç seviyesinde tatlı patates örneklerinin toplam kuruma süresi, antioksidan aktivite, toplam fenolik madde ve beta karoten içeriği belirlenmiştir. Tatlı patates örneklerinin %10 son nem içeriğine ulaşması için gereken süre, 90, 180 ve 360 W mikrodalga güçlerinde sırasıyla 155, 75 ve 44 dakika olmuştur. Taze tatlı patates örneklerinin antioksidan aktivite, toplam fenolik madde ve beta karoten içeriği sırasıyla 1,90-1,94 µmol TE/g kuru madde, 5,91-6,01 mg GAE/g kuru madde ve 104,74-117,92 µg/g kuru madde olarak bulunmuştur. Tatlı patates örneklerinin antioksidan aktivite değerleri mikrodalga güç seviyesindeki artış ile %16,83-43,34 oranlarında artmıştır. Toplam fenolik madde içeriğinde ise, kurutma işlemi sonunda %58,11-30,03 oranlarında kayıp meydana gelmiş, ancak kayıp oranı artan mikrodalga gücüyle azalmıştır. Son olarak örneklerin β-karoten içeriği kurutma sonunda %80,00-84,01 gibi yüksek oranlarda azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikrodalga, kurutma, tatlı patates, antioksidan aktivite, toplam fenolik madde, beta karoten

DETERMINATION OF SOME QUALITY CHARACTERISTICS OF SWEET POTATO DRIED BY MICROWAVE METHOD

Lecturer Dr. Senem TÜFEKÇİ

Department of Food Processing, Vocational School of Acıpayam, Pamukkale University
Acıpayam Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü,
stufekci@pau.edu.tr - 0000-0002-4613-2418

Prof. Dr. Sami Gökhan ÖZKAL

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Pamukkale University,
sgozkal@pau.edu.tr - 0000-0001-5040-9814

ABSTRACT

In this study, the effect of the microwave drying method on sweet potato samples was investigated. For this purpose, total drying time, antioxidant activity, total phenolic content, and beta-carotene content of sweet potato samples were determined at three different microwave power levels as 90, 180, and 360 W. The time required for the sweet potato samples to reach 10% final moisture content was 155, 75, and 44 minutes at 90, 180, and 360 W microwave power levels, respectively. Antioxidant activity, total phenolic content and beta carotene content of fresh sweet potato samples were determined as 1.90-1.94 $\mu\text{mol TE/g}$ dry matter, 5.91-6.01 mg GAE/g dry matter and 104.74-117.92 $\mu\text{g/g}$ dry matter, respectively. The antioxidant activity values of sweet potato samples increased by 16.83-43.34% as the microwave power level was increased. The total phenolic content showed losses ranging from 58.11% to 30.03% at the end of the drying process; however, the rate of loss decreased with increasing microwave power. Finally, the beta carotene content of the samples decreased at high rates such as 80.00-84.01% at the end of drying.

Keywords: Microwave, drying, sweet potato, antioxidant activity, total phenolic content, beta carotene

1. GİRİŞ

Kurutma, gıdalardan suyun uzaklaştırılarak su aktivitesi değerinin düşürüldüğü, bu sayede ürünlerin mikrobiyolojik ve enzimatik olarak kararlı hale getirilip raf ömrünün uzatıldığı en eski ve yaygın gıda koruma yöntemlerinden biridir (Jin ve ark., 2023; Wray ve Ramaswamy, 2015). Gıdaların kurutulmasında sıcak hava ile kurutma, düşük ekipman maliyeti ve geniş uygulama alanı gibi avantajlarıyla yaygın bir yöntem olmasına rağmen, uzun kurutma süresi, yüksek enerji tüketimi ve düşük ürün kalitesi nedeniyle mikrodalga, kızılötesi, radyo frekansı gibi yeni teknolojilerle giderek yer değiştirmektedir (An ve ark., 2024). Bu yeni teknolojilerden mikrodalga kurutma, kısa kurutma süresi, düşük alan gereksinimi, çevresel etkilerin azaltılması, daha az enerji tüketimi, farklı ürünlere uygulanabilme esnekliği ve yüksek ürün kalitesi gibi avantajlarıyla diğer yöntemlerden ayrılan, polar moleküllerdeki elektriksel güç değişiminin ani ısı üretimi ve basınç artışıyla hızlı nem kaybını teşvik ettiği, son yıllarda hızlı kurutulmuş ürünlere olan yüksek talep nedeniyle gıda işleme sektöründe dikkat çeken etkili bir kurutma yöntemidir (Ahmed ve ark., 2023; Nowacka ve ark., 2019).

Bu çalışma, geniş çaplı tarımsal üretimine rağmen gıda endüstrisinde yeterince değerlendirilmeyen tatlı patatesin, mikrodalga kurutma yöntemiyle işlenmesi sırasında antioksidan aktivite, toplam fenolik madde ve beta karoten içeriğinde meydana gelen değişiklikleri tespit etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmadan elde edilen sonuçların, tatlı patatesin kurutulmuş formundan üretilen unların makarna, erişte, kek ve ekmek gibi çeşitli gıda ürünlerine katkılanması durumunda bu ürünlerin belirli özelliklerindeki değişimlere dair literatüre önemli bir katkı sunması beklenmektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Tatlı patates (*Ipomoea batatas* [L.] Lam), İdeal Tarım Ürünleri Ticareti AŞ'den temin edilmiştir. Kurutma işleminden hemen önce kabukları soyulan tatlı patates örneklerinden elektronik sebze dilimleyici kullanılarak sabit kalınlıkta (0,4 cm) yüzeyler elde edildikten sonra sonra bu dilimlere metal kalıplar ile kare (2×2 cm) şekli verilmiştir.

2.2. Kurutma denemeleri

Tatlı patatesler, 90, 180 ve 360 W mikrodalga güçleri kullanılarak ev tipi hibrit fırın (Siemens HN678G4S1 Ankastre Fırın, Münih, Almanya) ile %10±0,5 nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Örneklerin %10±0,5 nem içeriğine ulaşmaları için geçen zaman toplam kuruma süresi olarak

kabul edilmiştir. Kurutma denemeleri her bir kurutma koşulu için iki paralelli ve üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

2.3. Kalite özelliklerinin belirlenmesi

Bu çalışmada tatlı patates örnekleri için kalite parametresi olarak belirlenen antioksidan aktivite, toplam fenolik madde ve beta karoten içeriği kurutmanın başında (0. dakika) ve sonunda ölçülmüş ve değişim Denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır (Uysal ve Özkal, 2022).

$$\text{Yüzde değişim (\%)} = [(\text{son değer/ilk değer}) - 1] \times 100 \quad (1)$$

Antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde içeriğini belirlenmesi

Taze ve kurutulmuş tatlı patates dilimlerinin antioksidan aktivitesinin ve toplam fenolik içeriğinin belirlenmesi için, Özgören ve ark. (2019) tarafından tanımlanmış ekstraksiyon yöntemi kullanılmıştır. Antioksidan aktivite tayini 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) yöntemi (Thaipong ve ark., 2006), toplam fenolik madde tayini ise Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Singleton ve ark., 1999).

Antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde değerlerinin belirlenmesi için örneklerin absorbansları sırasıyla 515 ve 760 nm dalga boylarında okunmuş, sonuçlar µmol troloks eşdeğeri (TE)/g kuru madde ve mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/g kuru madde olarak hesaplanmıştır.

Beta karoten içeriğinin belirlenmesi

Tatlı patates örneklerinin beta karoten içeriği yüksek basınçlı sıvı kromatografisi (HPLC) cihazı kullanılarak Demiray ve ark. (2013) tarafından tanımlanmış yöntemden bazı değişiklikler yapılarak belirlenmiştir. Sonuçlar µg/g kuru madde olarak sunulmuştur.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Toplam kuruma süresi

Mikrodalga güç seviyesi arttıkça tatlı patatesin %10±0,5 nem içeriğine ulaşması için geçen süre kısalmaktadır. Toplam kuruma süresinde mikrodalga gücünün 90 W'dan 180 W'a yükseltilmesi ile %51,10 ve 360 W'a yükseltilmesiyle %71,61 oranında kısalma meydana gelmiştir. Literatürde mürdüm eriği (Yıldız ve Çağındı, 2022), patates (Jungueria ve ark., 2020), havuç püresi (Abano ve ark., 2019) üzerine yapılan çalışmalar da mikrodalga güç seviyesindeki artışın gıdaların kuruma süresini kısalttığını göstermektedir.

Çizelge 1. Tatlı patates örneklerinin %10 nem içeriğine ulaşmaları için geçen süre

Mikrodalga güç seviyesi (W)	Kuruma süresi (dakika) (0,1 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar geçen süre)
90	155±0,82
180	75±0,01
360	44±0,82

3.2. Antioksidan aktivite değişimi

Taze tatlı patates örneklerinin antioksidan aktivite değerleri 1,90-1,94 µmol TE/g kuru madde arasında değişmektedir ve kurutma işlemi sonunda örneklerin antioksidan aktivite değerleri artış göstermiştir. 90, 180 ve 360 W mikrodalga güçlerinde antioksidan aktivite içeriğinde sırasıyla %16,83, %37,59 ve %43,34 oranlarında artış gerçekleşmiştir. Bu durum artan mikrodalga güç seviyesi ile toplam kuruma süresindeki azalmaya ek olarak kurutma sonucu meydana gelen ileri seviye enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonu ürünü olan melanoidinlerin varlığı ile ilişkilendirilmiştir (Wang ve ark., 2011; Vega Galvez ve ark., 2009).

Çizelge 2. Tatlı patates örneklerine ait antioksidan aktivite değişimi

Mikrodalga güç seviyesi (W)	Antioksidan Aktivite (µmol TE/g kuru madde)		
	Taze	Kuru	% Değişim
90	1,94±0,07	2,26±0,08	16,83±0,55
180	1,93±0,09	2,65±0,13	37,59±0,66
360	1,90±0,06	2,73±0,06	43,34±0,82

3.3. Toplam fenolik madde içeriği değişimi

Taze tatlı patates örneklerinin toplam fenolik madde içeriği 5,91-6,01 mg GAE/g kuru madde arasında değişmektedir. Mikrodalga kurutma sonucunda tatlı patates örneklerinin toplam fenolik madde içeriklerinde %30,03-58,11 oranlarında kayıp meydana gelmiş ancak bu kayıp artan mikrodalga güçlerinde azalmıştır. Balkabağı ve limon kabuğu üzerine yapılan çalışmalarda da mikrodalga yöntemi ile kurutma sonucunda toplam fenolik madde miktarında kayıplar yaşandığı raporlanmış ve bu durum geri dönüşümsüz oksidasyon reaksiyonu ile uzun süreli sıcaklık maruziyetinin bir sonucu olarak gerçekleşen ısıl parçalanma ile ilişkilendirilmiştir (Köprüalan ve ark., 2021; Uysal, 2019; Wojdyło ve ark., 2014).

Çizelge 3. Tatlı patates örneklerine ait toplam fenolik madde içeriği değişimi

Toplam fenolik madde (mg GAE/g kuru madde)

Mikrodalga güç seviyesi

(W)	Taze	Kuru	% Değişim
90	5,91±0,25	2,47±0,08	-58,11±0,90
180	6,01±0,20	3,03±0,12	-49,63±0,56
360	5,95±0,37	4,16±0,24	-30,03±0,76

3.3. Beta karoten içeriği değişimi

Taze tatlı patates örneklerinin beta karoten içerikleri 104,74-106,19 µg/g kuru madde olarak tespit edilmiştir. Mikrodalga kurutma yöntemi ile beta karoten içeriğinde %80 ile %84,01 arasında kayıp yaşanmıştır. Literatürdeki çalışmalarda da yer verildiği üzere mikrodalga kurutma işlemi sırasında mikrodalga gücündeki artış, ürün sıcaklığında hızlı bir yükselmeye neden olarak bozulmayı artırmakta, aynı zamanda oksidasyon reaksiyonlarını hızlandırarak kararsız kimyasal yapıya sahip beta karotenin kaybını önemli ölçüde artırmaktadır; bu da ürünün beta karoten içeriğinde belirgin bir azalmaya yol açmaktadır (Oliveira ve ark., 2015, Prakash ve ark., 2014).

Çizelge 4. Tatlı patates örneklerine ait beta karoten içeriği değişimi

Mikrodalga güç seviyesi	β-Karoten içeriği (µg/g kuru madde)			
	(W)	Taze	Kuru	% Değişim
90		106,19±3,77	21,20±1,12	-80,00±0,95
180		104,74±1,20	18,41±0,33	-82,38±0,96
360		117,92±2,93	18,88±0,51	-84,01±0,58

4. GENEL DEĞERLENDİRME

Tatlı patatesin mikrodalga yöntemiyle kurutulmasına yönelik bu çalışmanın bulguları, gıda işleme teknolojilerinde enerji verimliliği ve ürün kalitesi açısından önemli çıkarımlar sunmaktadır. Mikrodalga kurutmanın hızlı kuruma süresi ve antioksidan aktiviteyi artırma gibi potansiyel avantajları, bu yöntemin endüstriyel kullanım için bir alternatif olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, toplam fenolik madde ve beta karoten içeriğindeki kayıplar, yöntemin optimizasyonun gerekliliğini ortaya koymaktadır. Kurutma sürecinin optimize edilmesi, mikrodalga gücü ve uygulama süresi gibi değişkenlerin ürünün kalite özellikleri üzerine olumsuz etkilerini minimize edecektir. Ek olarak, kurutma sırasında oluşan oksidasyon ve ısıl parçalanmayı en aza indirmek amacıyla ön işleme tekniklerinin araştırılması önerilmektedir. Bu tür iyileştirmeler, mikrodalga kurutma yönteminin gıda endüstrisindeki yaygınlığını artırarak, özellikle fonksiyonel gıda ürünleri geliştirme çalışmalarına katkı

sağlayabilir. Tatlı patates gibi besin değeri yüksek tarımsal ürünlerin daha geniş bir endüstriyel uygulama yelpazesinde değerlendirilmesi, sürdürülebilir tarım ve gıda israfını azaltma hedeflerine de hizmet edecektir.

KAYNAKÇA

Abano, E. E., Amoah, R. S., & Opoku, E. K. (2019). Temperature, microwave power and pomace thickness impact on the drying kinetics and quality of carrot pomace. *Journal of Agricultural Engineering*, 50(1), 28-37.

Ahmed, M., Faisal, M., Laskar, A., Abdullah, A., Shahadat, M., Umar, K., Yusuf, M. Experimental studies for thin layer model validation and microwave drying characteristics of beetroot considering energy optimization. *Fuel*, 346, 128345, 2023.

An, N. N., Li, D., Wang, L. J., Wang, Y. Factors affecting energy efficiency of microwave drying of foods: an updated understanding. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64, 9, 2024.

Demiray, E.; Tulek, Y.; Yilmaz, Y. Degradation Kinetics of Lycopene, β -Carotene and Ascorbic Acid in Tomatoes during Hot Air Drying. *LWT–Food Sci. Technol.* 50, 172–176, 2013.

Jin, G., Zhu, Z., Wu, Z., Wang, F., Li, J., Raghavan, V., Song, C. Characterization of volatile components of microwave dried perilla leaves using GC–MS and E-nose. *Food Bioscience*, 56, 103083, 2023.

Junqueira, J. R. D. J., Corrêa, J. L. G., Petri, I., Gatti, I. P., & de Mendonça, K. S. (2022). Microwave drying of sweet potato: Drying kinetics and energetic analysis. *Australian Journal of Crop Science*, 16(10), 1185-1192.

Köprüalan, Ö., Altay, Ö., Bodruk, A., Kaymak-Ertekin, F., “Effect of hybrid drying method on physical, textural and antioxidant properties of pumpkin chips”, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 2995-3004, 2021.

Nowacka, M., Wiktor, A., Anuszevska, A., Dadan, M., Rybak, K., & Witrowa-Rajchert, D. The application of unconventional technologies as pulsed electric field, ultrasound and microwave-vacuum drying in the production of dried cranberry snacks. *Ultrasonics Sonochemistry*, 56, 2019.

Oliveira, S. M., Brandao, T. R., Silva, C. L., “Influence of drying processes and pretreatments on nutritional and bioactive characteristics of dried vegetables: A review”, *Food Engineering Reviews*, 8(2), 134-163, 2016.

Özğören, E.; Işık, F.; Yapar, A. Effect of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Supplementation on Chemical and Nutritional Properties of Crackers. *J. Food Meas. Charact.* 13, 2812–2821, 2019.

Prakash, S., Jha, S. K., Datta, N., “Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers, *Journal of food engineering*, 62(3), 305-313, 2004.

Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R. M., “Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent”, In *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press, 1999.

Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Byrne, D. H., “Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts”, *Journal of food composition and analysis*, 19(6-7), 669-675, 2006.

Uysal, B., & Özkal, S. G. Limon kabuklarının sıcak hava, mikrodalga ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonu ile kurutulması. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(4), 2223-2236, 2022.

Uysal, M. B., “Limon ve portakal kabuklarının sıcak hava, mikrodalga ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonu ile kurutulması”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, 2019.

Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., Perez-Won, M., “Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian)”, *Food chemistry*, 117(4), 647-653, 2009.

Wang, C. Y. and Singh, R. P., “Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying”, *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 11(6), 668-672, 2011

Wojdyło, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P., Oszmiański, J., “Effect of convective and vacuum–microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries”, *Food and Bioprocess Technology*, 7, 829-841, 2014.

Wray, D., Ramaswamy, H. S. Novel concepts in microwave drying of foods. *Drying Technology*, 33, 7, 2015.

Yıldız, D., & Çağındı, Ö. (2022). Güneş ve Mikrodalga ile Kurutmanın Mürdüm Eriğinin (*Prunus domestica* subsp. *insititia*) Fiziksel Kalitesi Üzerine Etkisi. *Akademik Gıda*, 20(1), 40-53.

TİMOL UYGULAMALARININ KESME ÇİÇEKLERDE VAZO ÖMRÜNE ETKİLERİ

Arş. Gör. Melek DEMİREL⁵

Kocaeli Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü,
melek.demirel@kocaeli.edu.tr - 0000-0002-8477-1122

Prof. Dr. Rezzan KASIM

Kocaeli Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü,
rkasim@kocaeli.edu.tr - 0000-0002-2279-4767

Prof. Dr. M. Ufuk KASIM

Kocaeli Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü,
mukasim@kocaeli.edu.tr - 0000-0003-2976-7320

ÖZET

Kesme çiçekler, bahçe bitkileri alanının katma değeri yüksek ürünleridir. Kesme çiçeklerin kalitesini korumak ve vazo ömrünü uzatmak, iç ve dış pazar talebini karşılamak için önemli uygulamalardır. Kesme çiçeklerin vazo ömrü esas olarak iki faktörden etkilenir bunlar birçok çiçeğin yaşlanmasını hızlandıran etilen ve damar tıkanıklığına neden olarak kesme çiçeklerin vazo ömrünü kısaltan mikroorganizmalardır. Günümüzde, bitkisel uçucu yağlar gibi kimyasal olmayan alternatifler uygulanmaktadır. Bunlar çevre için güvenli olan doğal organik bileşiklerdir. Yüksek oranda fenolik bileşik seviyeleriyle antimikrobiyal özellik göstererek süs bitkilerinde ve diğer bahçe ürünlerinde hasat sonrası patojen kontrolünde kullanılmaktadırlar. Timolün mantar, bakteri ve maya gibi çeşitli tıbbi açıdan önemli patojenlere karşı dikkate değer antimikrobiyal aktivitelere sahip olduğu yapılan birçok çalışmada kanıtlanmıştır. Bu derleme, kimyasal işlemlerin doğal koruyucularla değiştirilmesi olasılığını değerlendirmek ve timolün kesme çiçeklerde vazo ömrüne etkisini kapsamlı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Süs bitkileri, Kesme çiçek, Vazo ömrü, Uçucu yağlar, Timol

⁵ Sorumlu yazar

1.GİRİŞ

Kesme çiçekler, estetik ve duygusal değerleri nedeniyle önemli bir sektördür. Özel günlerde, etkinliklerde ve dekorasyon amaçlı olarak kullanılan kesme çiçekler, genellikle birkaç gün ile birkaç hafta arasında değişen bir vazo ömrüne sahiptir. Vazo ömrü, çiçeklerin tazeliğini ve kalitesini sürdürülebilmesi açısından kritik bir faktördür. Timol, bazı bitkilerde bulunan bir bileşen olup, kesme çiçeklerde vazo ömrünü uzatabilecek potansiyel bir koruyucu olarak dikkate alınmaktadır. Geleneksel olarak kesme çiçeklerin ömrünü uzatmak için kullanılan kimyasal koruyucular (örneğin, sodyum hipoklorit ve gümüş bazlı bileşikler) etkin olmakla birlikte, çevreye zararlı etkileri, toksisite riski ve yüksek maliyetleri nedeniyle sürdürülebilir bir çözüm olarak görülmemektedir. Bu noktada, timol gibi doğal antimikrobiyal bileşikler önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Kekik (*Thymus vulgaris*) gibi bitkilerden elde edilen timol, biyolojik olarak parçalanabilir bir maddedir. Mikroorganizmaların çoğalmasını engelleyerek kesme çiçeklerin su alım yollarını açık tutar. İnsan ve çevre sağlığı açısından daha güvenlidir. Düşük miktarlarda etkili olduğu için maliyet etkin bir çözümdür. Timol, kimyasal maddelerin olumsuz etkilerinden kaçınmak isteyen üreticiler ve tüketiciler için çevre dostu bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, hem kesme çiçek sektöründe sürdürülebilirliği artırmakta hem de yüksek performanslı sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır (Ahangaran ve ark. 2022).

Vazo ömrü, kesme çiçeklerin su ve besin alışverişini etkileyen birçok faktör içerir. Çiçeklerin kesiminden sonra yaşam döngüsü, alınan bakım, su kalitesi ve çevresel koşullar bu ömrü etkileyen başlıca unsurlardır. Kesme çiçeklerin dayanıklılığı hem tüketici memnuniyeti hem de sektördeki ekonomik kazancın artırılması açısından büyük önem taşır. Ancak, kesildikten sonra su alımının azalması ve mikroorganizma kaynaklı sorunlar nedeniyle çiçeklerin vazo ömrü kısalabilmektedir. Bu nedenle, doğal antimikrobiyal maddeler, kesme çiçeklerin daha uzun süre dayanması için önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Timol, doğal bir bileşik olarak bu alanda dikkat çekmektedir (Badi ve ark., 2017).

Timol, çeşitli bitkilerde doğal olarak bulunan bir bileşik olup, özellikle kekik gibi aromatik bitkilerde yüksek oranda bulunmaktadır. Antimikrobiyal özellikleri ve antibakteriyel etkisi ile tanınan timol, kesme çiçeklerin dayanıklılığını artırmak için kullanılabilir. Literatürde, timolün kesme çiçeklerin vazo ömrü üzerindeki etkileri hakkında çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

2.TİMOLÜN VAZO ÖMRÜ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Timol, çoğunlukla kekik (*Thymus vulgaris*) bitkisinden elde edilen, fenolik yapıya sahip doğal bir bileşiktir. Antimikrobiyal ve antifungal özellikleri ile bilinir. Kesme çiçeklerde kullanılmasının temel nedenleri şunlardır:

- Mikrobiyal faaliyetleri baskılayarak su alım yollarının tıkanmasını önler.
- Doğal bir bileşik olması nedeniyle çevre dostudur.
- Kimyasal koruyuculara göre daha az toksik etkiye sahiptir.

Timol, hücrelerdeki serbest radikalleri nötralize eden antioksidan özelliklere sahiptir. Bu özellik, çiçeklerin yaşlanma sürecini yavaşlatır ve ömrünü uzatır. Çiçekler, etilen gazının etkisiyle hızla yaşlanabilir; ancak timol, bu süreci engelleyerek daha uzun süre taze kalmalarına yardımcı olur. Kesme çiçeklerde mikroorganizmalara karşı koruma sağlamak, vazo ömrünün uzatılması açısından kritik öneme sahiptir. Timol, bakteriyel ve fungal büyümeyi inhibe ederek çiçeklerin

bozulmasını engeller. Bu özellik, timolün kesme çiçeklerde vazo ömrü üzerindeki olumlu etkilerinin temel nedenlerinden biridir. Timol, su iletim kanallarındaki mikrobiyal tıkanıklıkları azaltarak kesme çiçeklerin damar sisteminden suyun daha etkili bir şekilde taşınmasını sağlar. Su alımını kolaylaştıran bu etki, çiçeklerin su kaybını azaltmasına ve dokuların daha uzun süre taze kalmasına yardımcı olur (Zhang ve ark., 2019).

Hashemi ve ark., 2013 Krizantem (*Dendranthema grandiflorum*)`de timol (75 ve 125 mg L-1), mentol (75 ve 125 mg L-1) ve öjenol (75 ve 125 mg L-1) içeren koruyucu çözeltilerin 3±1°C ve %75-80 RH'de krizantem kesme çiçeklerinin kalitesi ve vazo ömrü üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Tüm çözeltilere %4 Sakkaroz eklenmiş ve kontrol uygulaması olarak damıtılmış su + %4 Sakkaroz uygulanmıştır. En yüksek vazo ömrü (59,58 gün) timol 125 mg L-1 ile elde edilmiş, ardından timol 75 mg L-1 (59,17 gün) kontrole (31,08 gün) kıyasla elde edilmiştir. Kontrol ve diğer uygulamalarla karşılaştırıldığında, timol (75 ve 125 mg L-1) taç yaprağı solmasını azaltmış ve koruyucu çözelti alımını, çiçek bağıl ağırlığını, yaprak zarı stabilitesini, çiçek çapını ve vazo ömrünü artırmıştır.

Babarabie ve ark., 2015, Alstroemeria kesme çiçeğini incelemek amacıyla koruyucu çözeltilerde 4000, 2000 ve 6000 mgL⁻¹ konsantrasyonlarda timol, biberiye uçucu yağı ve %4 sakaroz kullanmışlardır. Vazo ömrü, çözelti alımı, çiçek çapı, toplam çözünür kuru madde, antosiyanin ve klorofil miktarı değerlendirilmiştir. Sonuçlar, çiçeğin vazo ömrünün en fazlasının 14/33 gün ile 4000 mgL⁻¹ timol uygulamasına bağlı olduğunu, 9 günlük vazo ömrü ile kontrolün ise en az ömre sahip olduğunu göstermiştir. En büyük çiçek çapı ve toplam çözünür katı miktarı biberiye esansında görülürken en çok çözelti alımı, antosiyanin ve klorofil miktarı timol uygulanan çiçeklerde gözlenmiştir.

Mallahi ve ark., 2018, İki karanfil (*Dianthus caryophyllus* L.) çiçeğinin ömrü üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yürütülen çalışmada kontrol ve 250, 500 ve 1000 ppm timol konsantrasyonlarını ve ikinci deney için 0, 50, 100, 150 ve 200 ppm timol konsantrasyonlarını kullanmışlardır. Sonuçlar, 250 ppm'ye kadar timol konsantrasyonlarının her iki karanfil çeşidinde de vazo ömrünü azalttığını göstermiştir. Daha düşük konsantrasyonlarda, Beaumonde çeşidi vazo ömründen daha zayıf bir reaksiyona sahipken, 200 ppm timol uygulaması Sensi çeşidinde ömrü 2,34 gün önemli ölçüde uzatmıştır.

2.1. Timolün Kimyasallara Alternatif Olarak Kullanımı

Geleneksel kimyasal koruyucular genellikle çevreye zararlı olabilir ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Bununla birlikte, timol gibi doğal bileşikler, sürdürülebilir ve çevre dostu alternatifler sunmaktadır. Timolün doğal bir bileşik olması, çevre üzerindeki zararlı etkilerini en aza indirirken, aynı zamanda biyolojik çeşitliliği destekler (Alsaraf ve ark., 2020).

Kimyasal koruyucuların aksine, timol gibi doğal maddeler, biyolojik olarak parçalanabilir ve ekosistem için zararsızdır. Bu özellikleri sayesinde, tarımda ve çiçekçilikte sürdürülebilir uygulamalara olan talep artmaktadır.

Timol, sentetik koruyuculara göre insan sağlığı açısından daha güvenli bir alternatif sunar. Timolün organik ve doğal bitkilerden elde edilmesi, kesme çiçeklerin tüketicilere sunulmadan önce kimyasal kalıntı riski taşımasını sağlar.

2.2. Sürdürülebilirlik ve Gelecek Perspektifleri

Kesme çiçek endüstrisi hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirliği desteklemek için alternatif koruma yöntemlerine yönelmek zorundadır. Timol, sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından önemli bir fırsat sunar. Özellikle organik tarımda ve ekolojik dengeyi korumada önemli bir yer tutar (Rathod ve ark., 2021).

Timol, tarımda kullanılan kimyasal gübreler ve pestisitlere bağımlılığı azaltma potansiyeline sahiptir. Doğal bir koruyucu olarak, ekolojik tarım uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılabilir (Kahkonen ve ark., 1999).

Timolün kesme çiçekler üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, farklı çiçek türlerinde ve çeşitli uygulama yöntemleriyle yapılan kapsamlı araştırmalara ihtiyaç vardır. Ayrıca, timolün etkinliğini artırmak için biyoteknolojik yöntemlerin geliştirilmesi, gelecekte daha geniş uygulama alanları bulmasını sağlayacaktır.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Timol, kesme çiçeklerin vazo ömrünü uzatmada etkili bir antimikrobiyal ajan olarak ön plana çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar, timol uygulamalarının çiçeklerin su alımını artırarak ve mikrobiyal faaliyetleri baskılayarak dekoratif ömrü uzattığını göstermektedir.

Farklı çiçek türleri üzerinde timolün etkilerini karşılaştıran daha fazla çalışma yapılmalıdır. Timolün diğer doğal maddelerle kombinasyonları incelenmelidir. Uygulama dozajlarının optimizasyonu için kapsamlı araştırmalar gereklidir. Timol gibi doğal çözümler, çevre dostu özellikleri ve etkili sonuçları ile kesme çiçek sektöründe sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır.

4. KAYNAKLAR

1. Alsaraf, S., Hadi, Z., Al-Lawati, W. M., Al Lawati, A. A., & Khan, S. A. (2020). Chemical composition, in vitro antibacterial and antioxidant potential of Omani Thyme essential oil along with in silico studies of its major constituent. *Journal of King Saud University-Science*, 32(1), 1021-1028.
2. Asrar, A.W.A., 2012. Effects of some preservative solutions on vase life and keeping quality of snapdragon (*Antirrhinum majus* L.) cut flowers. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 11 (1), 29–35.
3. Babarabie, M., Zarei, H., & Varasteh, F. (2015). The effect of Rosemary essential oils and thymol on vase life and some physiological characteristics of *Alstroemeria* cut flowers.
4. Bazaz, A.M., Tehranifar, A., 2011. Effect of ethanol, methanol and essential oils as novel agents to improve vase-life of *Alstroemeria* flowers. *J. Biol. Environ. Sci.* 5 (14),41–46.
5. Gholami-Ahangaran, M., Ahmadi-Dastgerdi, A., Azizi, S., Basiratpour, A., Zokaei, M., & Derakhshan, M. (2022). Thymol and carvacrol supplementation in poultry health and performance. *Veterinary Medicine and Science*, 8(1), 267-288.

6. Hashemi, M., Mirdehghan, S. H., & Farahmand, H. (2014). The effects of thymol, menthol and eugenol on quality and vase-life of chrysanthemum cut flowers. *Iran Agricultural Research*, 32(2), 55-70.
7. Kahkonen, M.P., Hopia, A.I., Vuorela, H.J., Rauha, J.P., Pihlaja, K., Kujala, T.S., Heinonen, M., 1999. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.* 47 (10), 3954–3962
8. Mallahi, T., Ramezani, A., Saharkhiz, M. J., Javanmardi, J., & Iraji, A. (2018). Antimicrobial activities of Asafoetida and Shirazi thyme essential oils improve the vase life of gerbera cut flowers. *Acta Ecologica Sinica*, 38(3), 228-233.
9. Naghdi Badi, H. A., Abdollahi, M., Mehrafarin, A., Ghorbanpour, M., Tolyat, S. M., Qaderi, A., & Ghiaci Yekta, M. (2017). An overview on two valuable natural and bioactive compounds, thymol and carvacrol, in medicinal plants. *Journal of Medicinal Plants*, 16(63), 1-32.
10. Rathod, N. B., Kulawik, P., Ozogul, F., Regenstein, J. M., & Ozogul, Y. (2021). Biological activity of plant-based carvacrol and thymol and their impact on human health and food quality. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 733-748.
11. Zhang, J., Ma, S., Du, S., Chen, S., & Sun, H. (2019). Antifungal activity of thymol and carvacrol against postharvest pathogens *Botrytis cinerea*. *Journal of food science and technology*, 56, 2611-2620.

MUĞLA İLİ ARICILARININ ARI HASTALIK VE ZARARLILARI KONUSUNDA BİLGİ DÜZEYLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ziraat Yük. Mühendisi Ahmed KARAHAN

Afyonkarahisar İl Tarım ve Orman Müdürlüğü
ahmed.karahan@tarimorman.gov.tr - 0000-0002-8600-7507

Prof. Dr. Halil Selçuk BİRİCİK

Afyon Kocatepe Üniversitesi /Veteriner Fakültesi /Laboratuvar Hayvanları Anabilim Dalı,
hsbircik@aku.edu.tr - 0000-0003-4974-1611

Prof. Dr. İsmail KARACA

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi /Ziraat Fakültesi /Bitki Koruma Bölümü,
ismailkaraca@isparta.edu.tr - 0000-0002-0975-789X

Muğla, Türkiye'nin en önemli arıcılık bölgelerinden biri olup, iklimi ve geniş orman alanları sayesinde arıcılığa elverişli bir coğrafi yapıya sahiptir. TÜİK verilerine göre 2023 yılında ülkemizde en fazla arı işletmesi ve en fazla arı kovanı Muğla ilinde bulunmaktadır. Muğla ili özellikle çam balı üretimi ile bilinmekte olup, ormanlık alanlarındaki karaçam ağaçlarından elde edilen çam balı bölgedeki pek çok çiftçi ve üretici için önemli geçim kaynağını oluşturmaktadır. Çam balı üretimi için arı popülasyonunu artırmak isteyen arıcılar kovanlarını iç bölgelere taşır. Böylece arıcılar, gezginci arıcılık yaparak hem bal üretimini artırır hem de bitkisel ürünlerin devamlılığını sağlar.

Bu çalışmada, Muğla İlinden Afyonkarahisar'a gelen gezginci arıcılara anket uygulanarak, Muğla ili arıcılarının genel durumlar, arı hastalıkları ve zararlıları hakkındaki bilgi düzeyleri ve karşılaştıkları sorunlar belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda ankete katılan arıcıların %61,81'inin eğitim düzeyinin ilkokul olduğu, %77,78'inin 10 yıl ve üzerinde arıcılık tecrübesine sahip olduğu, %81,25'sinin 101 ve üzerinde kovan sahibi olduğu belirlenmiştir. Kovanlarına ait bilgileri düzenli olarak kayıt altına alan arıcıların oranı %11,81 iken, %74,31'i kovanlar üzerine işaret ve taş koyarak bilgi tutmaktadır. Arıcıların karşılaştığı sorunlar arasında ise ilk sırada, %88,89 oranıyla pazarlama yer almaktadır.

Ankete katılan arıcıların %88,19'u Nosema hastalığını, %82,64'ü Avrupa ve Amerikan yavru çürüklüğü hastalığını, %79,17'si ise kireç hastalığını kimseden yardım almadan teşhis edebildiği belirlenmiştir. Bu hastalıklar arasında Nosema, son 3 yıl içinde ankete katılan arıcıların %90'ının arılığında görülmüş ve bu arıcıların %59,03'ü nosema hastalığına karşı ilaç kullanmıştır. Arı zararlılarından ise varroa, ankete katılan tüm arıcılar tarafından bilinen bir zararlı olup, son 3 yılda tüm arıcıların kovanlarında tespit edilmiştir. Ayrıca, varroaya karşı tüm arıcılar son 3 yıl içinde ilaç kullanmıştır. Varroanın yanında eşek arısı, petek güvesi, arı kuşu ve kirpiyi ankete katılan arıcıların %90'ından fazlası kimseden yardım almadan tanımaktadır.

Anahtar Kelimeler : Muğla arıcıları, Arı hastalık ve zararlıları, Çam balı

ABSTRACT

ASSESSMENT OF KNOWLEDGE LEVELS OF MUGLA PROVINCE BEEKEEPERS ABOUT BEE DISEASES AND PESTS

Muğla is one of the most important beekeeping regions in Türkiye and has a geographical structure suitable for beekeeping thanks to its climate and large forest areas. According to TÜİK data, the highest number of beekeeping enterprises and the highest number of beehives in our country in 2023 are in Muğla province. Muğla province is especially known for its pine honey production, and the pine honey obtained from black pine trees in its forest areas constitutes an important source of income for many farmers and producers in the region. Beekeepers who want to increase the bee population for pine honey production move their hives to the inner regions. Thus, beekeepers increase honey production and ensure the continuity of plant products by doing migratory beekeeping.

In this study, a survey was conducted on migratory beekeepers coming from Muğla Province to Afyonkarahisar, and the general situations of Muğla beekeepers, their knowledge levels about bee diseases and pests, and the problems they encounter were determined.

As a result of the study, it was determined that 61.81% of the beekeepers who participated in the survey had a primary school education level, 77.78% had 10 years or more beekeeping experience, and 81.25% owned 101 or more hives. The rate of beekeepers who regularly recorded information about their hives was 11.81%, while 74.31% kept information by placing

signs and stones on the hives. Marketing came first among the problems encountered by beekeepers, with a rate of 88.89%. It was determined that 88.19% of the beekeepers who participated in the survey could diagnose Nosema disease, 83.64% European and American foulbrood disease, and 79.17% lime disease without any help. Among these diseases, Nosema was seen in the apiaries of 90% of the beekeepers who participated in the survey in the last 3 years and 59.03% of these beekeepers used medicine against nosema disease. Varroa, a pest known by all the beekeepers who participated in the survey, was detected in the hives of all the beekeepers in the last 3 years. In addition, all beekeepers used medicine against varroa in the last 3 years. In addition to varroa, more than 90% of the beekeepers who participated in the survey can recognize wasps, honeycomb moths, bee eater and hedgehogs without any help from anyone.

Keywords: Muğla beekeepers, Bee diseases and pests, Pine honey

1. GİRİŞ

Türkiye, sahip olduğu kovan sayısı ve ürettiği arı ürünleriyle dünya arıcılık ekonomisinde kilit bir rol oynamaktadır (Çukur ve Çukur, 2021). Ülkemizin konumu ve zengin bitki örtüsü, arıcılık faaliyetlerinin gelişmesine büyük katkı sağlamaktadır (Özsayın ve ark., 2024).

Ege bölgesi içinde de Muğla ili arıcılık ve arı yetiştiriciliği konusunda öne çıkan başlıca merkezlerden biridir (Oskay ve ark, 2019). Muğla, arı yetiştiriciliği alanında Türkiye'nin en önemli şehirlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. İşletme ve koloni sayısındaki büyüklüğü ile arı ürünlerinin çeşitliliği açısından stratejik bir öneme sahip olan Muğla, hem Türkiye'nin hem de dünyanın çam balı üretiminde merkezi bir konumdadır (Özsayın ve ark., 2024).

2022 yılında dünya kovan sayısı bir önceki yıla göre %1,1 artarak 101 milyona ulaşmıştır. Hindistan %12,5 ile ilk sırada yer alırken, Çin %9,2 ile ikinci, Türkiye ise %8,9 ile üçüncü sırada yer almıştır (Burucu, 2024).

Çizelge 1. Dünya Ülkeleri Kovan Sayıları (Bin adet)

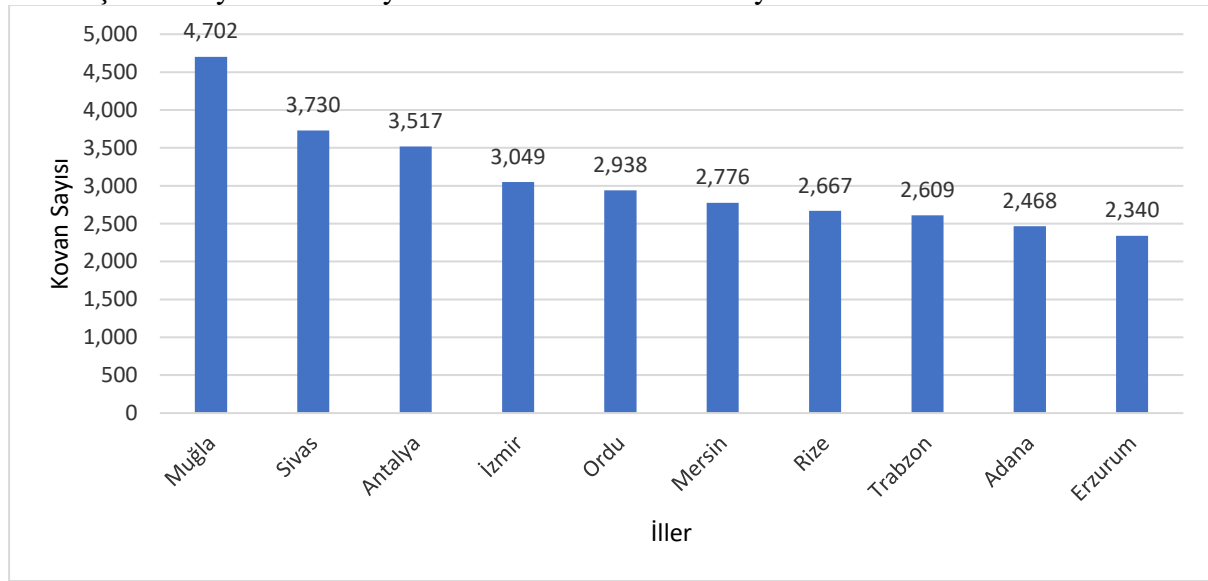
Ülkeler	2018	2019	2020	2021	2022
Hindistan	12.207	12.297	12.411	12.513	12.615
Çin	9.143	9.194	9.198	9.225	9.249
Türkiye	8.108	8.128	8.179	8.733	8.985
İran	6.947	7.160	7.213	7.372	7.575
Etiyopya	7.075	6.958	6.986	5.982	6.208
Tanzanya	2.978	3.030	3.038	3.057	3.077
Arjantin	2.921	2.977	2.971	2.973	2.976
Rusya Fed.	3.182	3.094	2.982	2.890	2.790

ABD	2.828	2.812	2.706	2.697	2.667
Meksika	2.172	2.158	2.148	2.226	2.319
Diğer	38.940	40.098	41.047	42.180	42.535
Dünya	96.501	97.906	98.879	99.848	100.996

(Burucu, 2024), (FAOSTAT, 2024)

Çizelge 1’de görüldüğü gibi dünya kovan varlığı bakımından 3. Sırada yer alan ülkemiz dünya bal üretiminde ise Çin’in ardından ikinci sırada yer almakta olup, bal ülkemiz için stratejik öneme sahip bir üründür (Karakaş ve Bal, 2019). 2023 yılında, 1,7 milyon arılı kovan ile Türkiye toplam kovan sayısının %18,3’üne sahip olan Ege Bölgesi, lider konumdadır. Çam balı üretiminin yoğun olarak yapıldığı bu bölge, Türkiye aracılığında önemli bir yere sahiptir ve bölgedeki kovanların %48,5’i Muğla’da bulunmaktadır (Burucu, 2024).

Görsel 1’de 2024 yılı TÜİK verilerine göre arıcılık işletmesi sayıları verilmiştir. Muğla ili 4.702 işletme sayısı ile 2023 yılında Ülkemizde ilk sırada yer almaktadır.



Görsel 1. 2023 Yılında Arıcılık İşletme Sayıları (İlk 10)

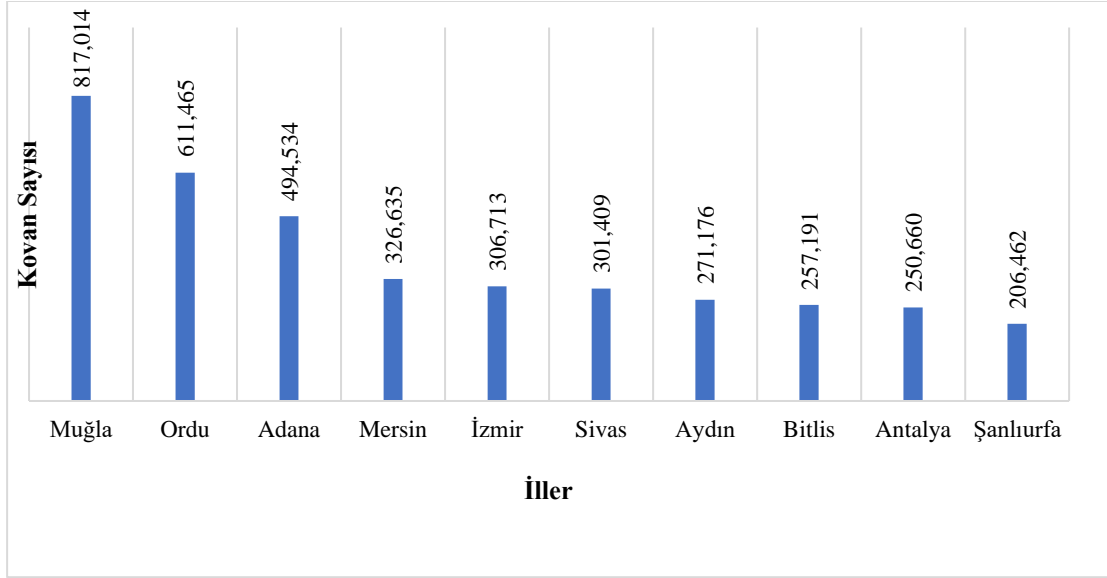
TÜİK 2024 verilerine bakıldığında 2023 yılında Ülkemizdeki işletme sayısının %4.68’i Muğla ilinde bulunmaktadır. Çizelge 2.’de Türkiye’deki işletme sayısı son yıllarda artış göstermiştir. Muğla ilinde ise tam tersi olarak işletme sayılarında azalma vardır.

Çizelge 2. Ülkemiz ve Muğla İlinde Arıcılık Faaliyeti Yapan İşletme Sayısı

Yıllar	Muğla	Türkiye	Yüzde (%)
2014	4.435	81.108	5,47
2015	4.947	83.475	5,93
2016	4.833	84.047	5,75
2017	5.080	83.210	6,11
2018	4.710	81.830	5,76
2019	4.745	80.675	5,88
2020	4.741	82.862	5,72
2021	5.062	89.361	5,66
2022	4.894	95.386	5,13
2023	4.702	100.399	4,68

Kaynak, TÜİK, 2024

Ülkemizde arıcılık faaliyeti yapan işletmelerdeki kovan sayısına bakıldığında 2023 yılında Muğla ili 817.014 adet kovan sayısı ile birinci sırada yer almaktadır (TÜİK, 2024).



Görsel 2. 2023 Yılında İller bazında Kovan Sayıları (İlk 10 İl)

Çizelge 3’de Ülkemizde ve Muğla ilinde bulunan eski tip kovan, yeni tip kovan ve toplam kovan sayıları verilmiştir. Çizelge 3’de son yıllarda Muğla ilinde kovan sayısında düşme olmasına rağmen Türkiye genelinde düzenli olarak kovan sayısı artmaktadır.

Çizelge 3. Ülkemiz ve Muğla İlinde Arıcılık Faaliyeti Yapan İşletmelerdeki Kovan Sayısı

Yıllar	Eski Tip Kovan Sayısı			Yeni Tip Kovan Sayısı			Toplam Kovan Sayısı		
	Muğla	Türkiye	Yüzde (%)	Muğla	Türkiye	Yüzde (%)	Muğla	Türkiye	Yüzde (%)
2014	1.904	193.825	0,98	825.636	6.888.907	11,99	827.540	7.082.732	11,68
2015	2.618	222.635	1,18	992.484	7.525.652	13,19	995.102	7.748.287	12,84
2016	2.579	220.882	1,17	980.022	7.679.482	12,76	982.601	7.900.364	12,44
2017	2.723	194.406	1,40	955.605	7.796.666	12,26	958.328	7.991.072	11,99
2018	2.308	203.922	1,13	933.155	7.904.502	11,81	935.463	8.108.424	11,54
2019	2.723	198.992	1,37	915.393	7.929.368	11,54	918.116	8.128.360	11,30
2020	3.346	222.152	1,51	897.237	7.956.933	11,28	900.583	8.179.085	11,01
2021	2.368	277.089	0,85	946.899	8.456.305	11,20	949.267	8.733.394	10,87
2022	2.223	249.738	0,89	881.873	8.734.938	10,10	884.096	8.984.676	9,84
2023	2.141	255.494	0,84	814.873	8.969.387	9,09	817.014	9.224.881	8,86

Kaynak, TÜİK, 2024

Muğla ilinde görülen kovan sayısındaki düşüşün son yıllarda çıkan orman yangınlarından dolayı olduğu tahmin edilmektedir.

Türkiye, dünya çam balı üretiminin %90'ını karşılarken, bu üretimin yaklaşık %80'i Muğla'da gerçekleştirilmektedir (Bahar ve Yılmaz, 2016). Muğla, çam balı üretimiyle tarih boyunca dünya çapında tanınmış ve bu alandaki ününü ünümüzde de sürdürmektedir. Kentte arıcılık, turizmden sonra gelen en önemli ekonomik faaliyetlerden biridir (Şahin ve Aydın, 2021).

Çizelge 4. Ülkemiz ve Muğla İlinde Üretilen Bal Miktarı (Ton)

Yıllar	Muğla	Türkiye	Yüzde (%)
2014	15.282	103.525	14,76
2015	15.206	108.128	14,06
2016	15.875	105.727	15,02
2017	15.867	114.471	13,86
2018	14.777	107.920	13,69
2019	14.688	109.330	13,44
2020	6.104	104.077	5,86
2021	3.820	96.344	3,97
2022	6.578	118.297	5,56
2023	8.082	114.886	7,03

Kaynak, TÜİK, 2024

Çizelge 4'de görüldüğü gibi Muğla ilinde bal üretimi son 10 yıl içinde yaklaşık %50 oranında düşüş yaşamıştır.

Çam balı, çam pamuklu böceğinin ürettiği salgılarıyla oluşan özel bir bal türüdür. Ancak son yıllarda iklim değişikliği ve orman yangınlarının etkisiyle böceğin doğal yayılım alanları daralmış, bu durum bal veriminde ciddi düşüşlere neden olmuştur (Oğuzoğlu ve Avcı, 2024).

Bu çalışmanın amacı arıcılık ve bal üretimi bakımından ülkemizde hatta dünyada önemli bir yere sahip olan Muğla ili arıcılarının arı hastalık ve zararlılarını kimsenden yardım almadan teşhis edebilmeleri ve bu ile zamanında ve doğru mücadele edip etmediklerini belirlemektir. Ayrıca Muğla ili turizmden sonra çam balı ile bilinmekte fakat bu çam balını üreten arıcılar hakkında çok az bilgi bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı hem ülkemizde hem de dünya genelinde arıcılık ve bal üretimi açısından önemli bir yere sahip olan Muğla ili arıcılarının, arı hastalıklarını ve zararlılarını kimseden yardım almadan teşhis edebilme yeteneklerini ve bu hastalık ve zararlılar ile zamanında ve etkili bir şekilde mücadele edip edemediklerini değerlendirmektir. Muğla, turizmin yanı sıra çam balı üretimi ile bilinmektedir. Ancak, çam balının üretiminde kilit rol oynayan arıcılar ve onların üretim süreçleri hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışma, arıcıların arı hastalıkları ve zararlıları konusundaki bilgi düzeylerini ortaya koyarak, bal üretiminin sürdürülebilirliğini ve Muğla ilindeki arıcılar hakkında daha detaylı bilgi sağlamayı hedeflemektedir.

2. MATERYAL METOD

Araştırmanın ana materyalini, Muğla'da arıcılık yapan ve arı kolonilerini güçlendirmek amacıyla Afyonkarahisar'a gelen gezginci arıcılara uygulanan anketlerden elde edilen veriler oluşturmuştur.

Anket soruları, katılımcıların yaşları, eğitim durumları ve arıcılık tecrübelerinin yanı sıra, arı hastalıkları ve zararlıları konusundaki bilgi birikimlerini ölçmeye yönelik hazırlanmıştır.

Ankete katılan arıcılara, hangi arı hastalık ve zararlılarını tanıyıp yardım almadan teşhis edebildikleri, kovanlarında bu sorunlardan hangilerinin görüldüğü, kimyasal ilaç kullanarak hangi hastalık ve zararlılarla mücadele ettikleri ve arılarına en fazla zarar veren hastalık ya da zararlının ne olduğu sorulmuş; alınan yanıtlar değerlendirilmiştir.

Ankete katılan arıcılara, çalışmanın yalnızca araştırma amaçlı olduğu belirtilmiş ve sorulara doğru, net cevaplar vermeleri teşvik edilmiştir. Elde edilen veriler, değişkenlerin aritmetik ortalamaları, minimum ve maksimum değerleri, frekansları ve yüzde (%) dağılımları kullanılarak değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

Ankete katılan toplam 144 arıcının verdiği yanıtlar detaylı bir şekilde analiz edilerek sonuçlar değerlendirilmiş ve aşağıda verilmiştir.

3.1. Eğitim durumunuz nedir? Sorusuna verilen cevaplar

Ankete katılan arıcıların eğitim düzeylerine ilişkin dağılım Çizelge 5’te detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Katılımcıların büyük bir kısmını ilkökul mezunları oluşturmakta olup, bu oran %61,81 olarak tespit edilmiştir. Lise mezunu arıcılar %24,31 ile ikinci sırada yer alırken, ortaokul mezunlarının oranı %11,11 olarak belirlenmiştir. Üniversite mezunu arıcılar, %2,78 ile en az temsil edilen grubu oluşturmaktadır.

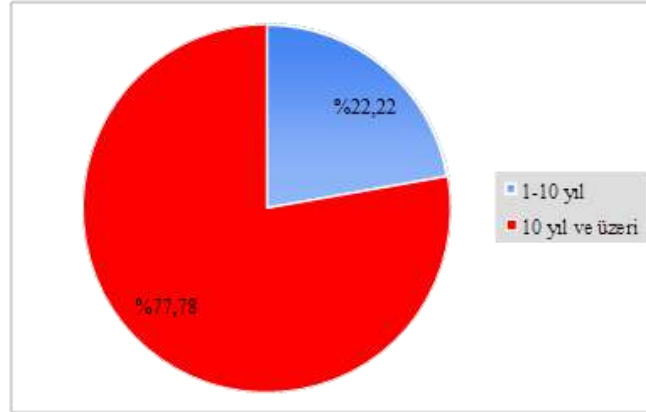
Çizelge 5. Eğitim Durumu (%)

Eğitim Durumu	Yüzde (%)
İlkokul	61,81
Lise	24,31
Ortaokul	11,11
Üniversite	2,78

Anket sonuçları değerlendirildiğinde, arıcıların eğitim seviyelerinin ağırlıklı olarak ilkökul düzeyinde olduğu, üniversite mezunu arıcı sayısının ise sınırlı olduğu görülmektedir.

3.2. Kaç yıldır arıcılık yapıyorsunuz? Sorusuna verilen cevaplar

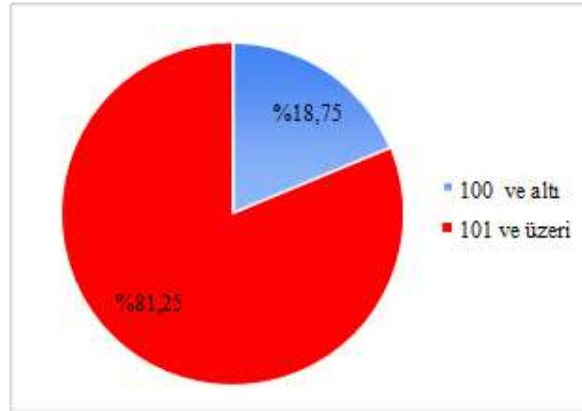
Ankete katılan arıcıların arıcılık tecrübesi incelendiğinde, %22,22’sinin 1 ile 10 yıl arasında bir süre boyunca arıcılık faaliyetlerini sürdürdüğü tespit edilmiştir. Buna karşılık, katılımcıların büyük bir çoğunluğunu oluşturan %77,78’inin ise 10 yılın üzerinde deneyime sahip olduğu belirlenmiştir.



Görsel 3. Arıcılık Yapma Süresi (Tecrübe) (%)

3.3. Arılı kovan sayınız ne kadar? Sorusuna verilen cevaplar

Ankete katılan arıcıların %18,75'inin 100 ve altında kovana sahip olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, katılımcıların büyük bir çoğunluğu olan %81,25'i ise 100'ün üzerinde kovana sahiptir. Bu durum, Muğla'dan gezginci olarak faaliyet gösteren arıcıların genellikle daha fazla sayıda kovana sahip olduklarını göstermektedir.

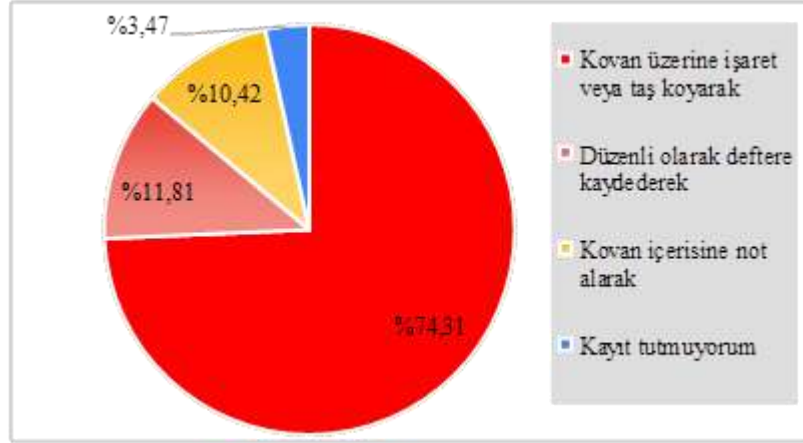


Görsel 4. Kovan sayıları (%)

Gezginci arıcıların genellikle fazla kovan sayılarıyla çalışması, bal üretim potansiyellerinin daha yüksek olduğunu ve ekonomik manada üretim yaptıklarını göstermektedir.

3.4. Arı ve kovanlarınıza ait bilgileri nasıl topluyorsunuz? Sorusuna verilen cevaplar

Ankete katılan arıcıların kovanlarına ilişkin bilgi toplama ve kayıt tutma yöntemleri incelendiğinde, %74,31'inin kovanlarının üzerine işaret veya taş koyarak bilgi topladığı belirlenmiştir. Katılımcıların %11,81'i düzenli olarak yazılı kayıt tutma alışkanlığına sahipken, %10,42'si kovanların içine not alma yöntemiyle kayıt tuttuğunu ifade etmiştir. %3,47'lik bir kesimin ise herhangi bir kayıt tutmadığı tespit edilmiştir.



Görsel 5. Kayıt Tutma (%)

Arıcıların büyük bir kısmının kayıt tutma konusunda daha pratik ve kolay olan geleneksel yöntemleri tercih ettiğini, ancak düzenli ve sistematik bir kayıt tutma alışkanlığının yaygın olmadığı belirlenmiştir.

3.5. Hangi Arı Hastalıklarını biliyor ve yardım almadan teşhis edebiliyorsunuz? Sorusuna verilen cevaplar

Anket sonuçlarına göre Çizelge 6'da görüldüğü gibi arıcıların en fazla tanıdığı hastalığın %88,19 ile Nosema Hastalığı olduğunu göstermektedir. Bu durum, Nosema'nın arıcılar arasında en yaygın bilinen hastalık olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 6. Arı Hastalıkları Bilme Oranları (%)

Hastalıklar	Yüzde (%)*
Nosema Hastalığı	88,19
Amerikan Yavru Çürüklüğü	82,64
Avrupa Yavru Çürüklüğü	82,64
Kireç Hastalığı	79,17
Taş Hastalığı	56,94
Septisemi Hastalığı	25,69

*Arıcılar birden fazla seçenek işaretlemiştir.

Amerikan Yavru Çürüklüğü ve Avrupa Yavru Çürüklüğü, %82,64 oranıyla ikinci sırada yer almakta ve bu hastalıkların da arıcılar arasında oldukça tanınan hastalıklar olduğunu göstermektedir.

Kireç Hastalığı, %79,17 oranında tanınarak yüksek bir bilinirlik seviyesine ulaşırken, Taş Hastalığı %56,94 oranıyla daha az bilinen hastalıklar arasında yer almaktadır. En düşük bilinirlik ise %25,69 ile Septisemi Hastalığına ait olup, bu hastalığın arıcılar tarafından en az tanınan hastalık olduğu anlaşılmaktadır.

3.6. Son 3 yılda arılığında görülen hastalıklar hangileri? Sorusuna verilen cevaplar

Son üç yıl içinde arıcıların arılıklarında görülen hastalıklara ilişkin veriler incelendiğinde Nosema Hastalığı %90,28 ile en yaygın görülen hastalık, %75 ile Kireç hastalığı ikinci sırada, %45,14 ile Avrupa yavru çürüklüğü hastalığı 3. Sırada yer almaktadır (Çizelge 7.).

Çizelge 7. Son 3 yılda Arı Kovanlarında Görülen Hastalıklar (%)

Hastalıklar	Yüzde (%)*
Nosema Hastalığı	90,28
Kireç Hastalığı	75,00
Avrupa Yavru Çürüklüğü	45,14
Amerikan Yavru Çürüklüğü	40,97
Taş Hastalığı	20,83
Septisemi Hastalığı	8,33
Diğer	
Adi Yavru Çürüklüğü	6,25

*Arıcılar birden fazla seçenek işaretlemiştir.

Taş Hastalığı %20,83 oranında görülürken, Septisemi Hastalığı %8,33 ile daha az rastlanan hastalıklar arasında yer almıştır. Ankete katılan arıcılar %6,25'i diğer seçeneğini işaretleyerek arılıklarında Adi Yavru Çürüklüğü hastalığı olduğunu bildirmişlerdir.

3.7. Hangi Arı Zararlılarını biliyor ve yardım almadan teşhis edebiliyorsunuz? Sorusuna verilen cevaplar

Arıcıların arı zararlılarını bilme ve kendi başlarına teşhis etme oranlarını Çizelge 8'de verilmiştir. Verilere göre, Varroa zararlısı %100 oranında bilinmekte olup, bu zararlının tüm arıcılar tarafından teşhis edilebildiği görülmektedir.

Çizelge 8. Arı Zararlılarını Bilme Oranları (%)

Zararlılar	Yüzde (%)*
Varroa	100,00
Eşek Arısı	96,53
Petek Güvesi	93,75
Arı Kuşu	90,28
Kirpi	90,97

*Arıcılar birden fazla seçenek işaretlemiştir.

Eşek Arısı, %96,53 oranında tanınma oranıyla arıcılar tarafından en çok bilinen ikinci zararlı olarak öne çıkmaktadır. Petek Güvesi ise %93,75 oranıyla üçüncü sırada yer almaktadır. Arı Kuşu ve Kirpi, sırasıyla %90,28 ve %90,97 oranlarında bilinirlik oranına sahiptir. Bu durum, her iki zararlının da arıcılar tarafından yaygın olarak tanındığını ve kolayca teşhis edilebildiğini göstermektedir.

3.8. Son 3 yılda arılığında görülen zararlılar hangileri? Sorusuna verilen cevaplar

Çizelge 9’da görüldüğü gibi, ankete katılan tüm arıcılarda varroa %100 oranında görülerek, arıcıların karşılaştığı en yaygın zararlı olmuştur. Eşek Arısı, %95,14 oranında görülme sıklığıyla ikinci sırada yer almakta ve ciddi bir tehdit oluşturduğu anlaşılmaktadır. Petek Güvesi ve Arı Kuşu, %90,97 oranıyla üçüncü sırayı paylaşmakta olup, bu zararlıların da oldukça yaygın olduğunu görülmektedir. Kirpi, %88,19 oranında görülen bir zararlı olup arıcılık faaliyetlerini olumsuz etkileyecek düzeydedir.

Çizelge 9. Son 3 Yılda Arılığında Görülen Zararlılar (%)

Türkiye Geneli	Yüzde (%)*
Varroa	100,00
Eşek Arısı	95,14
Petek Güvesi	90,97
Arı Kuşu	90,97
Kirpi	88,19

*Arıcılar birden fazla seçenek işaretlemiştir.

Bu verilere göre, tüm arı zararlıları yüksek oranlarda görülmekte olup, bu durum arıcılık sektöründe önemli sorunlara yol açmaktadır.

3.9. Son 3 yılda arılarına en fazla zarar veren etmen hangisidir? Sorusuna verilen cevaplar Ankete katılan arıcılar için son üç yılda arılara en fazla zarar veren etmenin varroa zararlısı olduğu görülmektedir. Eşek arısı, %6,94 ile ikinci sırada yer almakta olup, arı kuşu ve Nosema, sırasıyla %2,78 ve %2,08 oranlarıyla daha az etkili zararlılar olarak öne çıkmaktadır.

Çizelge 10. Arılara En Fazla Zarar Veren Etmen (%)

Hastalık ve Zararlılar	Yüzde (%)
Varroa	86,81
Eşek Arısı	6,94
Arı Kuşu	2,78
Nosema	2,08
Petek Güvesi	1,39
Amerikan Yavru Çürüklüğü	0,00
Avrupa Yavru Çürüklüğü	0,00
Kirpi	0,00
Kireç Hastalığı	0,00
Septisemi Hastalığı	0,00
Taş Hastalığı	0,00
Diğer	0,00

Kirpi, Amerikan ve Avrupa yavru çürüklüğü, septisemi ve kireç hastalığı gibi etmenlerin hiç bir arıcı tarafından seçilmemesi dikkat çekicidir. %86,81 gibi yüksek bir oranla öne çıkan varroa, arıcılar için en önemli sorunlardan biridir.

3.10. Arıcılık faaliyetinde karşılaştığınız sorunlar nelerdir? Sorusuna verilen cevaplar

Anket verilerine göre en sık görülen soru %88,89 ile pazarlamadır. İkinci sırada konaklama (%86,11), üçüncü sırada arıcılık malzemelerinin pahalı olması (%73,61) gelmektedir. Sahte bal üretimi nedeniyle tüketici güveninin azalması, arıcıların yüzde 70,83'ü tarafından dile getirilmiştir. Bitkisel üretimde kullanılan kimyasal ilaçların arılara zarar vermesi de yüzde 66,67 ile önemli bir problem olarak öne çıkmıştır. Desteklerin yetersizliği yüzde 27,78 oranında bir sorun olarak belirtilirken, Varroa zararlısına karşı toplu mücadelenin yetersizliği yüzde 15,28 ile bu listeye dahil olmuştur. Kuraklık yüzde 12,50 oranında bir tehdit olarak görülürken, devlet kontrolünün eksikliği yüzde 9,72 olarak ifade edilmiştir. Bal ormanlarının yetersizliği yüzde 9,03, ana arı temininde yaşanan sıkıntılar yüzde 6,94, gezginci arıcılarla ilgili problemler yüzde 5,56 ve onların getirdiği hastalık ve zararlılar yüzde 4,86 oranında dile getirilmiştir.

Çizelge 11. Arıcılık Faaliyetinde Karşılaşılan Sorunlar (%)

Sorunlar	Yüzde (%)*
Pazarlama	88,89
Konaklama	86,11
Arıcılık Malzemelerinin pahalı olması	73,61
Sahte Ballardan dolayı güven eksikliği	70,83
Bitkisel Üretimde Kullanılan İlaçlar	66,67
Birliklerin faaliyet ve etkinliğinin olmaması	56,94
Nakliye	50,00
Desteklerin Yetersizliği	27,78
Varroaya karşı toplu mücadelenin yetersizliği	15,28
Kuraklık	12,50
Devlet kontrolünün olmaması	9,72
Bal Ormanlarının yetersizliği	9,03
Ana arı tedarik edememe	6,94
Gezginci arıcılar	5,56
Gezginci arıcıların getirdiği hastalık ve zararlılar	4,86

*Arıcılar birden fazla seçenek işaretlemiştir.

Çizelge 11'de görüldüğü gibi arıcılık sektöründe çözüm bekleyen geniş bir sorun yelpazesi olduğunu göstermektedir ve bu sorunların çözülmesi sektörün sürdürülebilirliği açısından hayati önem taşımaktadır.

3.11. Aşağıdaki Nosema (halk arasında "Sürüngeç" diye bilinen) hastalığına neden olan etmenlerden hangilerini biliyorsunuz? Sorusuna verilen cevaplar

Çizelge 12 arıcıların Nosema hastalığına neden olan etmenler hakkındaki bilgi düzeylerini göstermektedir. Arıcıların yüzde 47,22'si bu hastalığın etmenlerini bilmediğini belirtmiştir. Her ikisini de bilenlerin oranı yüzde 20,83'tür

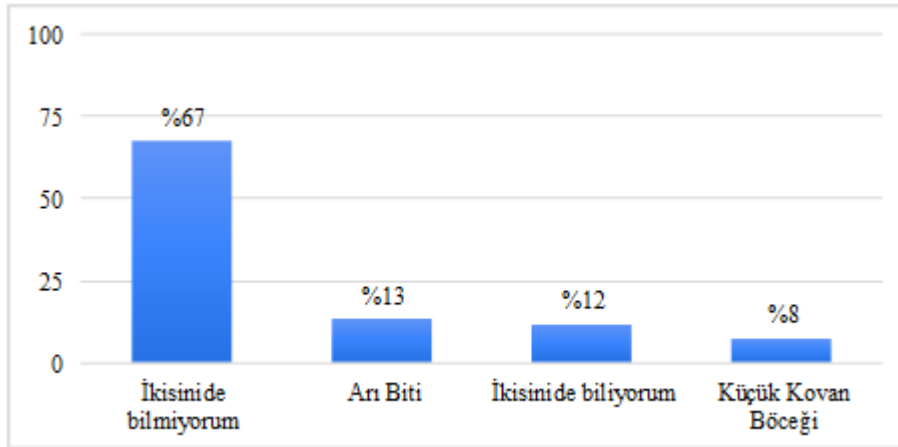
Çizelge 12. Nosema Hastalığı Etmenini Bilme Oranları (%)

Seçenekler	Yüzde (%)
Bilmiyorum	47,22
İkisini de biliyorum	20,83
Nosema ceranae	18,75
Nosema apis	13,19

Sadece *Nosema ceranae*'yi bilen arıcıların oranı yüzde 18,75, *Nosema apis* 'i bilenlerin oranı ise yüzde 13,19'dur. Bu veriler, arıcıların çoğunluğunun hastalık etmenlerine dair sınırlı bilgiye sahip olduğunu göstermektedir.

3.12. Aşağıdaki arı zararlılarından hangilerini biliyorsunuz? Sorusuna verilen cevaplar

Ankete katılan arıcılara arı biti ve küçük kovan böceğini bilip bilmedikleri sorulmuş ve cevaplar Görsel 6'da verilmiştir. Ankete katılanların %67 gibi yüksek bir bölümünün ikisini de bilmiyorum, %13'ü Sadece arı bitini biliyorum, %12'si her ikisini de biliyorum, %8' küçük kovan böceğini biliyorum seçeneğini işaretlemiştir.

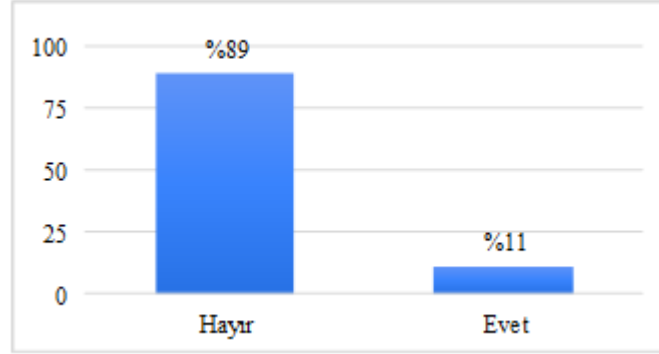


Görsel 6. Görsel Açıklaması

Ankete katılanların %67 gibi oldukça yüksek bir oranı "İkisini de bilmiyorum" cevabını vermesi arıcıların büyük bir kısmının bu zararlılar hakkında yeterli bilgiye sahip olmadığını ve bu konuda ciddi bir farkındalık eksikliği olduğunu göstermektedir.

3.12. Varroa ile Arı biti arasındaki farkı biliyor musunuz? Sorusuna verilen cevaplar

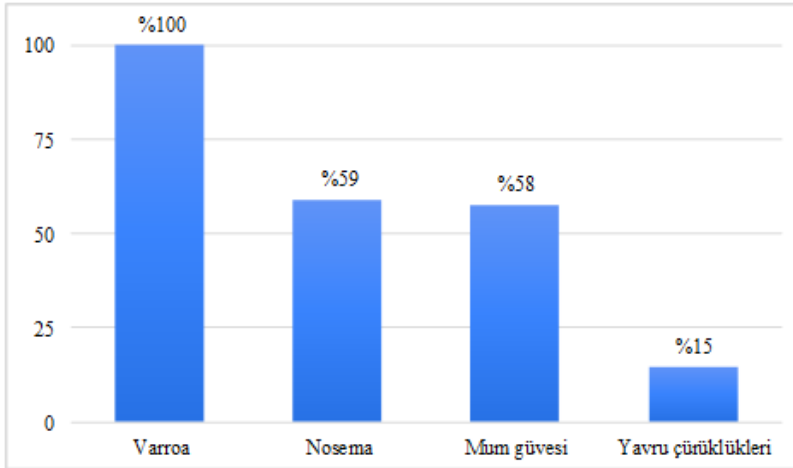
Ankete katılan arıcıların büyük bir çoğunluğu (%89) Görsel 7’de görüldüğü gibi varroa ile arı biti arasındaki farkı bilmediklerini belirtirken, yalnızca %11’i bu farkı bildiğini belirtmiştir.



Görsel 7. Varroa ile Arı Biti Arasındaki Farkı Bilenler (%)

3.13. Arılarına son 3 yılda hangi etmenler için ilaç verdiniz? Sorusuna verilen cevaplar

Tüm arıcılar (%100) Varroa zararlısına karşı ilaç kullandıklarını belirtmiştir. Arıcıların %59'u, Nosema hastalığına karşı ilaç kullandıklarını ifade etmiştir. Arıcıların %58'i, mum güvesine karşı ilaçlama yaptıklarını bildirmiştir. Yavru çürüklükleri için ilaçlama oranı %15 ile diğer etmenlere göre daha düşüktür.



Görsel 8. Son 3 Yılda İlaç Kullanılan Etmenler (%)

Arıcıların önceliklerini ve mücadele ettikleri zararlıların önem sırasını ortaya koymaktadır. Varroa ile mücadele öncelikli bir sorun olarak öne çıkarken, diğer zararlı ve hastalıklar için ilaç kullanımı daha düşük seviyelerde kalmıştır.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Ankete katılan arıcıların çoğunluğu ilkokul mezunu (%61,81), %77,78'inin 10 yılın üzerinde deneyim ve tecrübeye sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca katılımcıların büyük kısmı (%81,25) 100'ün üzerinde kovana sahip olduğu belirlenmiştir. Kayıt tutma alışkanlıkları incelendiğinde, çoğu arıcı (%74,31) kovanlarını işaretleyerek bilgi toplamakta, yalnızca %11,81'i yazılı kayıt tutmaktadır.

Hastalıklar arasında en çok bilinen Nosema (%88,19) olurken, Amerikan ve Avrupa Yavru Çürüklüğü de (%82,64) yaygın şekilde tanınmaktadır. Zararlılara gelince, Varroa tüm arıcılar tarafından bilinmekte ve %100 oranında görülerek en önemli sorun olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra Eşek Arısı (%96,53) ve Petek Güvesi (%93,75) de yaygın olarak tanınan diğer zararlılar arasındadır.

Borum'un 2017 yılında yaptığı çalışmada, Güney Marmara Bölgesi'ndeki Yalova, Bilecik, Bursa, Balıkesir ve Çanakkale'deki arıcıların durumları incelenmiş; arıcıların %100'ünün varroa, %77,5'inin yavru çürüklüğü, %83,75'inin kireç hastalığı ve %2,5'inin taş hastalığına sıklıkla rastladığı, kayıplarının ise %80'inin hastalıklardan, %12,5'inin zirai ilaçlardan ve %7,5'inin açlıktan kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Arıcıların neredeyse tamamı varroa ve yavru hastalıklarını tanıdığını, yaklaşık %95'inin ise varroaya karşı kimyasal mücadele yöntemlerini kullandığını ifade etmiştir (Demir, 2015).

Arıcıların kolonilerinde en sık karşılaştıkları ve arı hastalıkları ile zararlıları arasında en önemli sorun olarak varroa zararlısının öne çıktığı belirlenmiştir (Takma ve ark., 2019)

Gökdemir ve Güneşdoğdu'nun 2023 yılında Artvin ilinde yaptığı çalışmada, arıcıların büyük bir bölümünün yavru çürüğü, varroa paraziti, Nosema hastalığı ve kireç hastalığını tanıyabildiği belirtilmiştir.

Sektörün en büyük sorunları arasında pazarlama (%88,89) ve konaklama (%86,11) ön plana çıkarken, arıcılık malzemelerinin yüksek maliyeti (%73,61) ve kimyasal ilaçların arılara verdiği zarar (%66,67) önemli problemler arasında yer almaktadır. Varroa zararlısı, tüm arıcılar için en büyük tehdit olarak tanımlanmış ve mücadelede ilaç kullanımı birincil yöntem olmuştur. Nosema hastalığına karşı ilaç kullananların oranı %59, mum güvesine karşı ise %58 olarak

tespit edilmiştir. Bu veriler, arıcılık sektörünün hem yapısal hem de çevresel birçok sorunla karşı karşıya olduğunu göstermektedir.

Pazarlama sorunu, Türkiye'deki arıcılık işletmelerinin karşı karşıya olduğu en ciddi sorunlardan biridir (Şahin ve ark., 2021).

Arıcılık sektörü, finansman sorunları, gezginci arıcıların konaklama problemleri ve işletmelerin kapasite eksiklikleri gibi yapısal sorunlarla karşı karşıyadır. Bu durum, işletmelerin verimliliğini ve ülke ekonomisine katkısını olumsuz etkilemektedir. Çözüm için sektör envanteri çıkarılmalı, gezginci arıcılara yönelik konaklama alanları oluşturulmalı ve Coğrafi Bilgi Sistemi ile yönlendirme ve kontrol mekanizmaları geliştirilmelidir (Söğüt ve ark., 2019), (Aksoy ve ark., 2022).

Markalaşma ve reklam çalışmaları, işletmelerin tanıtımını güçlendirmesi ve gelirlerini artırması açısından kritik öneme sahiptir. Bu sayede işletmeler, ulusal pazarlardan uluslararası arenaya açılarak daha geniş bir müşteri kitlesine ulaşabilir. Ayrıca, bu tür çalışmalar ülkelerin ihracat gelirlerini artırarak ekonomik büyümeye de katkı sağlayabilir (Varalan ve Çevrimli, 2023)

Bal arıları, tozlaşma, ürün verimliliği ve biyoçeşitliliğin korunması açısından hayati öneme sahip organizmalardır. Aynı zamanda, bal ve bal ürünleri birçok canlı için değerli bir besin kaynağıdır. Ancak arı parazitleri, vektörler ve tarımsal zararlılarla mücadelede aşırı pestisit kullanımı, bal arısı ölümlerine ve biyoçeşitliliğin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, tarımsal ürünlerin hem kalitesinde hem de miktarında düşüşe yol açabilmektedir (Polat ve ark., 2020). Son yıllarda, dünya genelinde ve Türkiye'de bal arısı kovanlarındaki ölümler dikkat çekici şekilde artmıştır. Tarımsal faaliyetlerde kullanılan pestisitler, bal arılarının bu maddelere karşı hassasiyeti nedeniyle sağlıklarını ciddi şekilde tehdit etmektedir (Ergün ve Altıntaş, 2022).

Yapılan araştırmalar arı ölümleri üzerinde sıklıkla dursa da 2024 yılı FAOSTAT ve TÜİK verilerine bakıldığında, dünya genelinde ve Türkiye'de her geçen yıl arı kovanı sayısında artış görülmektedir. Örneğin, 2022 yılında Hindistan'da kovan sayısı %0,8, Çin'de %0,3 ve Türkiye'de %2,9 oranında artmıştır. Kıtalar bazında ise Asya'da %1,5, Avrupa'da %0,9 ve Afrika'da %1,7 oranında artış kaydedilmiştir (Burucu, 2024). Bu veriler, arı ölümlerine ilişkin endişelere rağmen kovan sayılarında gözle görülür bir artış olduğunu ortaya koymaktadır.

TEŞEKKÜR

Afyonkarahisar Arı Yetiştiricileri Birliği danışmanı Hasan Hüseyin YAKŞI'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

1. Çukur, F., & Çukur, T. (2021). Muğla ili arıcılık potansiyelinin apiturizm açısından değerlendirilmesi. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 27(2), 113-122.
<https://doi.org/10.24181/tarekoder.882927>
2. Özsayın, D., Akbağ, H. I., & İnce, B., Arıcılık işletmelerinin sosyo-ekonomik yapısı ve sorunları: Muğla ili Fethiye ilçesi örneği, Ege 11th International Conference on Applied Sciences, 1-3 Haziran 2024, İzmir, Türkiye, ISBN: 978-625-6283-28-2.
3. Oskay, D., Kükreler, M., & Kence, A. (2019). Muğla bal arısında (*Apis mellifera anatoliaca*) Amerikan yavru çürüklüğü hastalığına karşı direnç geliştirilmesi. *Arıcılık Araştırma Dergisi*, 11(1), 8-20.
4. Burucu, V., Ürün raporu: Arıcılık, Tarım Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü (TEPGE), Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024.
5. FAOSTAT (2023). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<https://www.fao.org/faostat/en/#home> (Erişim tarihi: 19.12.2024).
6. Karakaş, G., & Bal, H. S. G. (2019). The relationship between honey yield and environmental pollutants in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 7(11), 2018-2024.
7. Şahin, Ö., & Aydın, A. (2021). Kültürel, gastronomik ve turistik değer: Muğla'da arıcılık ve özel Muğla Arıcılık Müzesi örneği. *Türk Turizm Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 459-473.
© 2021 Türk Turizm Araştırmaları Dergisi.

8. Aksoy, A., Özbek, E., & Özdemir, F. N. (2022). Türkiye’de gezginci arıcılık sektörüne ekonomik bir bakış. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 9(4), 1051-1061.
9. Söğüt, B. vd. (2019). Arıcılık işletmelerinde mevcut durum, temel sorunlar ve çözüm önerileri üzerine bir araştırma (Bingöl ili örneği). *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 19(1), 50-60.
10. Polat, B., Özüoğlu, M., Çetin, H., & Aydın, L. (2020). The effects of pesticide usage on honey bee health and products. *Veteriner Fakültesi Dergisi, Uludağ Üniversitesi*, 39(2), 128-134.
11. Ergün, H., & Altıntaş, L. (2022). Pestisitlerin arı yetiştiriciliğine etkisi. *Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni*, 13(1), 26-46. <https://doi.org/10.38137/vftd.1075708>.
12. Bahar, O., & Yılmaz, E. (2016). Arı turizmi ve Muğla’da uygulanabilirliği. 5th International Muğla Beekeeping and Pine Honey Congress, 1-5 November, 537, Fethiye, Turkey.
13. Oğuzoğlu, Ş., & Avcı, M. (2024). Çam balı kaynağı çam pamuklu koşnilinin, *Marchalina hellenica* (Gennadius, 1883) (Hemiptera: Marchalinidae) çam ormanlarına bulaştırılması ve Burdur ilindeki durumu. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 26(1), 100-109. <https://doi.org/10.24011/barofd.1383156>
14. Varalan, A. (2023). Arıcılık işletmelerinde risk faktörlerinin belirlenmesi; Kars ili örneği. (Yüksek Lisans). Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya.
15. Demen, H. (2015). Diyarbakır ilinde arıcılığın yapısı ve sorunların belirlenmesi üzerine bir araştırma. (Master's thesis, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
16. TÜİK (2024). Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr> (Erişim tarihi: 19.12.2024).
17. Borum, A. E. (2017). Güney Marmara Bölgesi’nde Arıcılık Anket Çalışması. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 17(1), 24-34.

18. Takma, Ç., Kösoğlu, M., Topal, E., Özkırım, A., Taşkiran, N. Ö., & Karaca, Ü. (2019). İzmir İli arıcısının arı hastalık ve zararlılarına bakışı. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 56(2), 187-193.
19. Gökdemir, F. G., & Güneşdoğdu, M. (2023). Artvin İli Arı Yetiştiriciliğinin Yapısının Araştırılması; Borçka İlçesi Örneği. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1(2), 31-36.

TÜRKİYE KAYISI YETİŞTİRİCİLİĞİNDE SORUN OLAN BÖCEKLER VE BÖLGESEL DAĞILIMLARI

Arş. Gör. Dilek DOĞAN

Iğdır Üniversitesi/Ziraat Fakültesi

dilek.dogan@igdir.edu.tr - 0000-0001-9692-7211

Öğr. Gör. Nagihan KILIÇ

Iğdır Üniversitesi/Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

nagihan.kilic@igdir.edu.tr- 0000-0002-7746-8125

ÖZET

Dünya nüfusunun her geçen gün artması ve küresel salgın sebebiyle tarım ve gıda sektörü önemli bir yere sahiptir. Ülkelerin tarımsal üretimde sürdürülebilirliği, kendine yeterlilik düzeyleri ve gıdaya ulaşım koşulları önemli faktörler olmuştur. Kayısı dünyada ekonomik olarak Orta Asya ve Çin'de yetiştirilmeye başlamakta olup Türkiye'de ise her bir bölge, üretim yoğunluğu ve çeşitlilik açısından farklılık göstermekte olan Malatya, Elâzığ-Erzincan-Sivas, Akdeniz, Kars-Iğdır, Ege, İç Anadolu ve Marmara bölgelerinde geniş çapta üretilen bir meyve türüdür. Kayısı üretimini sınırlayan faktörlerden en önemlilerden biri böceklerdir. Türkiye'de bizim açımızdan önemli bir yere sahip olan Kayısı'da önemli zararlı böcekler bulunmaktadır. Bu böceklerden, Şeftali güvesi (*Anarsia lineatella* (Zeller, 1839)), Doğu meyve güvesi (*Cydia molesta* (Busck,)), Fidan dipkurtları (*Capnodis tenebrionis* (Linnaeus, 1758)), Kiraz yazıcböceği (*Scolytus rugulosus* (Müll.)), Erik koşnili (*Sphaerolecanium prunastri* (Boyer de Fonscolombe, 1834)), Erik unlu yaprakbiti (*Hyalopterus pruni* (Geofry.)), Akdeniz meyve sineği (*Ceratitis capitata* (Wiedemann)), İki noktalı kırmızı örümcek (*Tetranychus urticae* Koch). Kayısı üretiminde yaşanan bu zararlı sorunları, üretim miktarlarının düşmesine, ürün kalitesinin bozulmasına ve nihayetinde ekonomik zarara yol açabilmektedir. Bu nedenle, kayısı zararlılarıyla etkili mücadele hem üretim miktarlarının sürdürülebilirliği açısından hem de ekonomik kaybın önüne geçmek açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu derlemede önemli zararlı böcekler ve yayılışları verilerek, meyvenin kalitesini korumak ve çiftçilerin ekonomik kayıplarını en aza indirmek açısından kritik önemdedir.

Anahtar Kelimeler: Kayısı, Türkiye, Zararlı Böcekler

Giriş

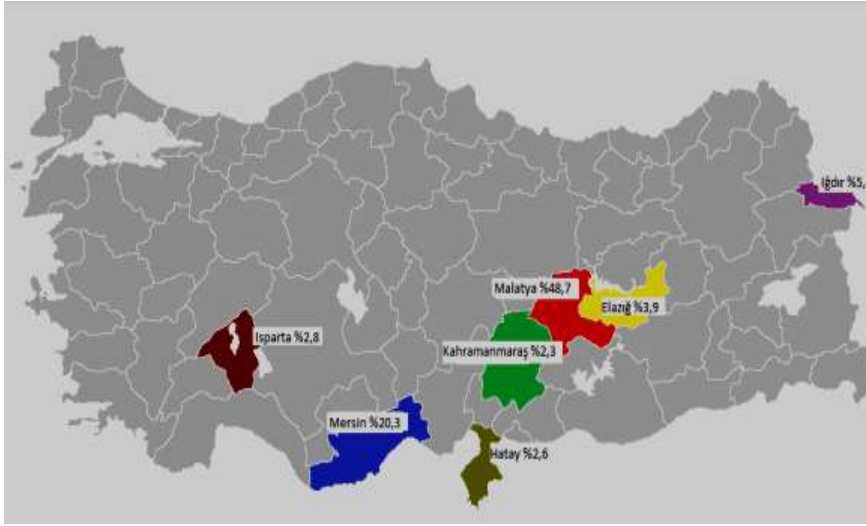
Kayısı, tarihsel olarak Orta Asya ve Çin'de yetiştirilmeye başlanan, günümüzde ise özellikle Akdeniz iklimine sahip ülkelerde geniş çapta üretimi yapılan bir meyve türüdür (Asma, B. ve ark., 2017).

Dünya genelinde yıllık kayısı üretimi yaklaşık 4 milyon ton civarındadır. Türkiye, dünya kayısı üretiminin %60'ını gerçekleştirerek, bu alanda ilk sıralarda yer alır. Özellikle Malatya kayısı, yüksek kalitesi ve besin değeri ile dünya çapında büyük bir üne sahiptir. Türkiye'nin yıllık ortalama 800 bin ton taze kayısı üretimi bulunmaktadır ve bunun önemli bir kısmı kurutulmuş olarak ihraç edilmektedir. Türkiye'nin kuru kayısı ihracatı dünya pazarının %80'ini karşılamakta ve bu da ülke ekonomisine ciddi bir katkı sağlamaktadır (Asma ve ark., 2017).

Türkiye'de kayısı üretim alanları, coğrafi özellikleri, üretim miktarları ve değerlendirme kriterlerine göre yedi farklı bölgeye ayrılmaktadır. Bu bölgeler; Malatya, Elâzığ-Erzincan-Sivas,

Akdeniz, Kars-Iğdır, Ege, İç Anadolu ve Marmara bölgeleridir. Her bir bölge, üretim yoğunluğu ve çeşitlilik açısından farklılık göstermekte olup, toplam kayısı üretiminin yarısından fazlası Malatya bölgesinde gerçekleştirilmektedir (Kilic ve ark., 2023)

Türkiye'nin kayısı üretiminde en bilinen il Malatya olsa da Iğdır ili de kayısı tarımında önemli bir yere sahiptir. Iğdır, mikroklima özelliği taşıyan iklim yapısı sayesinde tarımda özel bir konuma sahiptir ve kayısı üretimi açısından oldukça verimli alanlara sahiptir. Iğdır'da yetiştirilen kayısılar, özellikle tatlı ve aromatik özellikleriyle bilinir. Yıllık ortalama kayısı üretimi 40 bin ton civarındadır ve bu üretim miktarıyla Iğdır, Türkiye'nin önemli kayısı üretim merkezlerinden biri olarak öne çıkar. Türkiye'de kayısı üretiminin en yoğun olduğu il Malatya'dır, onu sırasıyla Mersin, Kahramanmaraş, Iğdır, Elâzığ, Hatay, Antalya, Kayseri, Sivas ve Isparta takip etmektedir. Ağaç başına verim miktarına bakıldığında ise, en yüksek verim Iğdır'da elde edilmektedir. Iğdır'ı Mersin ve ardından Kars izlemektedir. Kars'ın üçüncü sırada yer almasının nedeni ise, bölgede Şalak kayısı çeşidinin yetiştirilmesidir (Karadeniz, ve Doğru Çokran, 2020).



Şekil 1. Türkiye kayısı üretim miktarının il bazında dağılım haritası (2021, %)

Kayısı üretiminde yaşanan zararlı sorunları, üretim miktarlarının düşmesine, ürün kalitesinin bozulmasına ve nihayetinde ekonomik zarara yol açabilmektedir. Zararlılar nedeniyle hasat edilmeden dökülen meyveler veya meyve kalitesinin düşmesi, kayısı pazarında rekabet gücünü de zayıflatabilir. Bu nedenle, kayısı zararlılarıyla etkili mücadele hem üretim miktarlarının sürdürülebilirliği açısından hem de ekonomik kaybın önüne geçmek açısından büyük bir öneme sahiptir (Kilic ve ark., 2023)

Ancak, kayısı üretiminde özellikle sofralık kayısı çeşitlerinde raf ömrünün kısa olması, farklı iklim koşullarına adaptasyonun az olması, ilkbahar geç donlarının zararları ve en önemlisi meyvenin bitkinin verim ve kalitesini olumsuz yönde etki gösteren birçok “biyotik” ve “abiyotik” faktörler mevcuttur. Bunlardan biriside entomolojik sorunlardır. Zararlılar, kayısı ağaçlarının hem verimini hem de meyve kalitesini olumsuz etkileyebilir. Zararlıların tespiti, entegre mücadele yöntemlerinin etkin kullanımı, kayısı ağaçlarının sağlıklı gelişimi için büyük bir rol oynar. Zararlılara karşı alınacak önlemler, meyvenin kalitesini korumak ve çiftçilerin ekonomik kayıplarını en aza indirmek açısından kritik önemdedir. Bu zararlıların başında;

Takım	Familya	Tür
Lepidoptera	Gelechiidae	<i>“Anarsia lineatella”</i> (Zeller, 1839) Şeftali güvesi
	Tortricidae	<i>“Cydia molesta”</i> (Busck,) Doğu meyvegüvesi <i>Archips rosanus</i> L.
Coleoptera	Buprestidae	<i>“Capnodis tenebrionis”</i> (Linnaeus, 1758) Fidan dipkurtları
	Scolytidae	<i>“Scolytus rugulosus”</i> (Müll.) Kiraz yazıcıböceği,
	Melolonthidae	<i>“Melolontha melolantha”</i> L. <i>“Polyphylla fullo”</i> L.
Hemiptera	Coccidae	<i>“Sphaerolecanium prunastri”</i> (Boyer de Fonscolombe, 1834) Erik koşnili <i>“Palaeolecanium bituberculatum”</i> Targ.-Tozz
	Lygaeidae	<i>“Lygaeus equestris”</i> (Linnaeus, 1758)
	Pentatomidae	<i>“Dolycoris baccarum”</i> (Linnaeus, 1758) Dut kımılı <i>“Apodiphus amygdali”</i> (Germ) Büyük ağaç pentatomidi
	Cicadidae	<i>“Lyristes plebejus”</i> Büyük kara ağustosböceği
	Aphididae	<i>“Hyalopterus pruni”</i> (Geofry.) Erik unlu yaprakbiti <i>“Pterochloroides persicae”</i> (Chol.) <i>“Myzus persicae”</i> (Sulz.)
Diptera	Tephritidae	<i>“Ceratitis capitata”</i> (Wiedemann) Akdeniz Meyve Sineği
Acarina	Tetranychidae	<i>“T. cinnebarinus”</i> Boisd. <i>“Tetranychus urticae”</i> Koch <i>“T.viennensis”</i> Zach.

KAYISIDA GÖRÜLEN ENTOMOLOJİK SORUNLAR

Anarsia lineatella (Zeller, 1839) Şeftali güvesi (Lepidoptera, Gelechiidae)

Ergin şeftali güvesi, koyu gri ile boz renklerde olup, üst kanatlarında düzensiz açık koyulu gri çizgisel lekeler görülür. Alt kanatlar üst kanatlara göre daha açık renktedir. Kenarlarında saçaklar vardır. Dinlenirken kanatlar vücut üzerine çatı şeklinde kapanır. Erginlerin kanat açıklığı 14-16 mm arasında değişir, vücut boyu ise yaklaşık 8 mm civarındadır. Erkekler genellikle dişilerden daha küçüktür. Yumurta yuvarlak, eni ise 0.3 boyu 0.5 mm, mm'dir. (Anonim, 1995; 2000).

A. lineatella yumurtası başlangıçta sarımsı renktedir ve dölllenmiş yumurtanın gelişimi ilerledikçe portakal rengine, yumurtadan çıkışa yakın ise kahverengiye dönüşür. Yumurta çatlayıp larva çıktığında, larva 0.5 mm boyunda olup sarımsı kahverengi renktedir. Olgunlaşmış larva, yaklaşık 10 mm uzunluğunda, kırmızımsı kahverengi bir renge sahiptir. Larvanın vücut segmentleri arasında kirli beyazımsı sarı renkli ve enine çizgiler şeklinde bir görünüm fark edilir. Pupa evresine gelindiğinde, pupa yaklaşık 6 mm uzunluğunda, koyu kahverengi, parlak ve çıplaktır. Baş, thorax, abdomen ve bacaklar ise siyah renklerde ve 8-10 mm arasında görülmektedir (Öztürk ve Hazır, 2005).

A. lineatella kış aylarını genellikle ikinci larva evresinde geçirir ve 1-4 yaşlarındaki ağaç dallarında, dal çatallarında, kuru ve pürüzlü kabukların alt kısımlarında, tomurcuk pullarının arasında, gövde üzerindeki çatlak ve yarıklarda, ağacın dip kısmındaki oyuklarda ya da bazen koşnillerin kabukları altında saklanır (Bagdavadze, 1971; Lazarov ve ark., 1971; Viggiani, 1989; Anonim, 1995; 2000). Larvaların kışladığı yerler, kabuğun yaklaşık 2 mm derinliğinde görülmekte 0.5x10 mm boyutlarında, uzunluğu 2-3 mm olup, iç kısmı kokon benzeri ağ ile kaplanmıştır. Şeftali güvesi, 10-31°C aralığındaki sıcaklıklarda gelişir ve bir dölünü yaklaşık 600 gün-derecede tamamlar. Bir dişi güve 6-133 arasında yumurta bırakabilir (Lazarov ve ark., 1971; Kısakürek, 1976; Rice ve ark., 1982; 1992; Viggiani, 1989).

Kışlayan dölle ait larvalar, öncelikle çiçek ve yaprak tomurcuklarında zarar yapar. Çiçeklerin çanak yapraklarını kemirerek delikler açar ve çiçek yumurtalıklarını yiyerek zararlı hale gelirler. Genç sürgünlerin uç kısmından içeri girip tomurcuk ve sürgünlerin kurummasına neden olurlar. Yaz döneminde, sürgünlerin tazeliği azaldıkça, larvaların meyvelere verdiği zarar artar ve sürgünler yerine meyveleri tercih etmeye başlarlar. Larvaların meyve üzerindeki beslenme şekli oldukça tipiktir. Genç larva, meyvenin kabuğunun altını kavisli bir şekilde oyabilir ya da meyve etinde tüneller açarak çekirdeğe kadar ilerleyebilir. Meyveye sap dibinden, yandan veya iki meyvenin birbirine değdiği noktalardan girerek meyve dökülmesine neden olurlar. Son dölle ait larvalar, sap dibinden başlayarak meyvenin çekirdeğine kadar ilerler ve çekirdek çevresinde zarar verir. Genellikle her bir larva yalnızca bir meyveye zarar verir (Öztürk ve ark., 2010). Türkiye’de yapılan araştırmalar, zararlının Marmara Bölgesi’nde 3, Ege Bölgesi’nde 2, Akdeniz Bölgesi’nde 3-5 ve Malatya yöresinde ise 2-3 döl verdiğini göstermektedir.



Şekil 2. *A. Lineatella ergini*

Cydia molesta (Busck,) Doğu meyvegüvesi
(Lepidoptera Tortricidae)

Taş çekirdekli meyve ağaçları olmak üzere birçok meyve ağacında ciddi zararlara yol açar ve ekonomik kayıplara neden olur. Erginler küçük ve gri-kahverengi renktedir. Larvaları ise beyazımsı veya pembemsi renkte olup, baş kısımları koyu renklidir. Başta şeftali olmak üzere,

erik, kayısı, kiraz gibi taş çekirdekli meyve ağaçlarında bulunur (Kong, et. al., 2019) Ayrıca, elma ve armut gibi yumuşak çekirdekli meyve ağaçlarında da zararlı olabilir. Dişi güve, yumurtalarını genellikle genç meyve kabuğuna veya yapraklara bırakır. Yumurtadan çıkan larvalar, meyvenin içine girerek çekirdeğe doğru tüneller açar ve beslenir. Bu, meyvenin çürümmesine ve ticari değerini yitirmesine neden olur. Larvalar, meyve yüzeyinde veya toprakta pupa evresine geçer. Pupalardan çıkan yetişkin güveler, çiftleşir ve döngü devam eder. Bir yıl içinde iklim koşullarına bağlı olarak birkaç döl verebilir. Sıcak bölgelerde 4-5 döl, serin bölgelerde ise 2-3 döl görülebilir. Larvalar, meyve etine ve çekirdeğe zarar vererek çürümeye ve dökülmeye neden olur (Hughes, 2004)

Türkiye’de özellikle Ege, Akdeniz ve Marmara bölgelerinde yaygın olarak görülür (Hazır, 2008).



Şekil 3. *Cydia molesta* ergini

***Capnodis tenebrionis* (Linnaeus, 1758) Fidan dipkurtları
(Coleoptera Buprestidae)**

Ergin Siyah renkli, oval ve metalik bir parlaklığa sahiptir. Uzunluğu 20-30 mm arasında değişir. Çiftleşme sonrası yumurtalarını ağaçların dip kısmındaki toprak yüzeyine veya çatlaklara bırakır. Larvalar toprak altına girerek köklere ve kök kabuklarına zarar verir. Beslenme sırasında köklerin su ve besin taşıma sistemini tahrip eder, bu da ağacın kurumasına yol açabilir. Larvalar, toprak altında pupa evresine geçer. Bu evrede kışı geçirirler. Sıcak bölgelerde birkaç nesil verebilir (Ben-Yehuda, 2000). Larvalar, ağaçların kök sistemine zarar vererek su ve besin alımını engeller. Bu durum, ağacın yapraklarında sararma, meyve dökümü ve sonunda ağaç ölümüyle sonuçlanabilir (Mfarrej, 2010). Türkiye’de özellikle Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde taş çekirdekli meyve üretimi yapılan alanlarda sıklıkla karşılaşılır (Tezcan, 2011).



Şekil 4. *Capnodis tenebrionis* ergini

***Scolytus rugulosus* (Müll.) Kiraz yazıcıböceği
(Coleoptera Scolytidae)**

Ergin böcekler küçük (2-3 mm), silindirik ve koyu kahverengi veya siyah renktedir. Larvalar beyazımsı renkte, kıvrık ve bacaklıdır. Çiftleşme sonrası dişi böcekler, ağaçların kabuklarına delik açarak galeriler oluşturur ve yumurtalarını bu galerilere bırakır. Yumurtlama sırasında kabuk ve odun dokusu arasında galeriler açılır ve bu, bitkilerde ciddi zararlar oluşturur. Yumurtadan çıkan larvalar, odun dokusunda beslenerek yan dallara doğru yayılan galeriler oluşturur. Larvalar odun ve floem dokusunu tahrip ederek ağacın su ve besin taşıma sistemine zarar verir (Tezcan, & Sarıkaya, 2024). Larvalar toprak yüzeyine yakın bölgelerde pupaya dönüşür. İlkbaharda pupalardan çıkan yeni erginler, tekrar yumurtlama yaparak döngüyü devam ettirir. Türkiye’de **Marmara, Ege, Akdeniz** ve **Karadeniz** bölgelerinde meyve üretim alanlarında sıklıkla karşılaşılır (Öztürk ve ark. 2004).

***Sphaerolecanium prunastri* (Boyer de Fonscolombe, 1834) Erik koşnili (Hemiptera Coccidae)**

Başta kayısı, erik, şeftali ve badem olmak üzere taş çekirdekli meyve ağaçlarında bulunur. Bazen yumuşak çekirdekli meyve ağaçlarına ve süs bitkilerine de bulaşabilir. Ergin Yuvarlak, kubbeli ve kahverengimsi renktedir. Çapı yaklaşık 2-5 mm civarındadır. Larvalar ise küçük, sarımsı-yeşil renkte ve hareketlidir. Dişi bireyler, kabuklarının altında çok sayıda yumurta bırakır. Yumurtalar birkaç hafta içinde larvalara dönüşür. Yeni çıkan larvalar hareketlidir ve uygun bir yer bulduklarında bitki yüzeyine tutunurlar. Bu dönemde, yapraklar ve genç dallarda zarar verirler. Larvalar büyüyerek hareketsiz ergin dişilere dönüşür. Erkek bireyler genellikle görülmez; popülasyon dişilerden oluşur. Bitki özsuğunu emer ve bitkinin zayıflamasına neden olur. Yapraklarda sararma, dökülme ve sürgünlerde gelişim geriliği görülür (Korkmaz, & Yıldırım, 2023).

Türkiye’de, özellikle Ege, Marmara, Akdeniz ve Doğu anadolu bölgelerinde bulunan *Sphaerolecanium prunastri* iklim koşullarına bağlı olarak genellikle yılda 1-2 nesil verir (Özgen, & Bolu, 2009). Ege ve Akdeniz Bölgeleri sıcak iklim koşullarına sahip olan bu bölgelerde koşnil, çoğunlukla 2 nesil verir. İlk nesil ilkbaharda ortaya çıkar ve ikinci nesil yaz sonuna doğru aktif

hale gelir. Marmara Bölgesi Daha ılıman iklime sahip bu bölgede ise zararlı genellikle 1 nesil verir. Ancak bazı yıllarda, uygun koşullarda 2 nesil de verebilir.



Şekil 5. *Sphaerolecanium prunastri*

Hyalopterus pruni (Geofry.) Erik unlu yaprakbiti
(Hemiptera Aphididae)

Bu zararlı, özellikle erik, kayısı, şeftali ve badem gibi meyve ağaçlarında beslenerek ekonomik kayıplara yol açar. Bitkilerde bitki özsuğunu emerek zayıflamaya neden olur ve salgıladığı balımsı madde ile, fumajin oluşturarak bitki sağlığını olumsuz etkiler (kilic ve ark., 2023). Ergini yeşilimsi veya mavimsi-yeşil renkte olup vücutları genellikle mumsu bir tabakayla kaplıdır. Kanatlı ve kanatsız formları bulunur. Kanatlı bireyler daha koyu renklidir. Nimfi Küçük, açık yeşil renkte ve erginlere benzer ancak kanatsızdır (Öztürk ve Ulusoy, 2003).

Özellikle taş çekirdekli meyve ağaçlarının yoğun olarak yetiştirildiği **Ege, Akdeniz, Marmara** ve kısmen **Güneydoğu Anadolu** ve **Doğu Anadolu** bölgelerinde sıkça görülür (Alaserhat ve Bozbek, 2021). Ayrıca **İç Anadolu** bölgesinin sulanabilir alanlarında da zaman zaman rastlanır. **Ege ve Akdeniz Bölgeleri** Sıcak ve uzun büyüme sezonuna sahip olan bu bölgelerde zararlı daha hızlı çoğalır ve genellikle yılda **10-12 döl** verir (Öztürk ve Ulusoy, 2003). **Marmara ve İç Anadolu Bölgeleri** Daha ılıman veya serin iklim koşullarında bu tür genellikle yılda **7-9 döl** verir.



Şekil 6. *Hyalopterus pruni*

(photo by László Érsek)

***Ceratitis capitata* (Wiedemann) Akdeniz Meyve Sineği
(Diptera Tephritidae)**

Ergin Gözleri yeşilimsi-mavi, gövdesi sarımsı-kahverengi olup Kanatları şeffaf olup üzerinde karakteristik kahverengi şeritler bulunur. Larvası Bacaksız, beyaz-krem renkte ve 8-9 mm uzunluğunda meyve içinde beslenir ve olgunlaşır. Dişi sinekler, yumurtalarını meyvenin kabuğu altına bırakır. Yumurtadan çıkan larvalar, meyve etiyle beslenir. Olgunlaşan larvalar, meyveden çıkarak toprakta pupa oluşturur. Larvaların meyve içinde beslenmesi, meyvenin çürümesine ve pazar değerinin kaybına yol açar (Krainacker, Carey & Vargas, 1987). Türkiye'nin özellikle **Akdeniz, Ege, Marmara ve Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu** bölgelerinde yaygın olarak bulunur. Bu bölgelerde yıllık ortalama sıcaklık ve iklim koşullarına bağlı olarak yılda **4-7 döl** verir. Akdeniz Bölgesi Yüksek sıcaklık ve uzun büyüme sezonu nedeniyle yılda **6-7 döl** verebilir. Ege bölgesi ise Akdeniz'e göre biraz daha serin olmasına rağmen, sıcaklıklar sineğin gelişimi için uygundur. Genellikle yılda **5-6 döl** verir (Kaya, & İpekdağ, 2018).



Şekil 7. *Ceratitis capitata* ergini

(Photo by USDA ARS Photo Unit, USDA Agricultural Research Service, Bugwood.org)

***Tetranychus urticae* Koch.**

(Acarina Tetranychidae)

Bitkiler üzerinde yaprakların alt yüzeyinde koloniler oluşturarak beslenen ve ciddi ekonomik kayıplara yol açan bir akar türüdür. Dünya genelinde çok geniş bir konukçu yelpazesi olan bu zararlı, tarla bitkilerinden sebzelere, meyve ağaçlarından süs bitkilerine kadar birçok bitkide zarara neden olur.

Dişi bireyler kırmızımsı-turuncu, erkekler daha açık renklidir. Vücutları yaklaşık 0.5 mm boyutundadır. İki koyu nokta, vücutlarının yanlarında belirgin bir şekilde görülür. Dişi bireyler, yaprakların alt yüzeyine yüzlerce yumurta bırakır. Nimfler yaprak yüzeyinde beslenerek büyür. Kırmızı örümcekler, yaprakların alt yüzeyindeki bitki özsuğunu emerek beslenir. Bu, yaprakların sararmasına, bronzlaşmasına ve sonunda dökülmesine yol açar. Yapraklar üzerinde örümcek ağlarına benzer ince ağlar oluşturarak fotosentezi daha da engeller. Türkiye'de iklim koşullarına bağlı olarak yılda 10-15 döl verebilir. Bu döl sayısı, sıcaklık, nem ve konukçu bitkilerin bulunabilirliği gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Akdeniz Bölgesinde Yüksek sıcaklık ve düşük nem nedeniyle popülasyon hızla artar. Yılda 12-15 döl verebilir. Ege Bölgesi Akdeniz'e benzer koşullarda yılda 10-13 döl verebilir. Marmara Bölgesi daha serin ve nemli iklim nedeniyle gelişim biraz daha yavaştır. Yılda 8-10 döl verebilir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ise Sıcak ve kurak koşullar nedeniyle Akdeniz'e benzer şekilde yılda 12-14 döl verebilir.



Şekil 8. *Tetranychus urticae*
(Photo by Anna Beber)

SONUÇ

Türkiye'de kayısı zararlıları üzerine yapılan araştırmalar sonucunda kayısı üretiminde entegre zararlı kontrol (IPM) yöntemlerinin daha etkili ve sürdürülebilir bir yaklaşım olduğu ortaya çıkmıştır. Erken tanı, kimyasal kontrol ve biyolojik kontrol yöntemlerinin doğru zamanlama ile birlikte kullanılması haşere kontrolünde başarıyı artırmıştır. Özellikle yerel ekosistem koşullarına uygun zararlı kontrol stratejileri hem verimliliği artırmış hem de çevre dostu bir üretim süreci yaratmıştır.

Sonuç olarak kayısılarda zararlı kontrolünde kimyasal ve biyolojik yöntemlerin dengeli bir şekilde uygulanması gerektiği vurgulanmış ve bu yöntemlerin kayısı üreticilerine ekonomik faydalar sağladığı ve zararlıların uzun vadede kontrol altında tutulmasında etkili olduğu belirlenmiştir. Tarımda sürdürülebilirliğe ve çevre dostu uygulamalara yönelmek kayısı üretiminin verimliliğine ve sağlığına katkıda bulunur.

KAYNAKÇA

Anonim. Integrated Pest Management for Almonds. University of California Statewide Integrated Pest Management Project. Division of Agriculture and Natural Res. Publication, California, 3308, 64–69,1985

Alaserhat, İ., & Bozbek, Ö. Erzincan ve Gümüşhane İlleri Kayısı Ağaçlarında Saptanan Zararlı ve Faydalı Türler ve Önemli Olan Zararlı Türlerin Doğada Bulunma Zamanı. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(3), 642-654, 2021.

Anonim. Ziraî Mücadele Teknik Talimatı. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Koruma ve Kontrol Genel Müdürlüğü, Ankara, Cilt 3, s; 162-165, 1995.

Anonim. UC Management Guidelines for Peach Twig Borer on Apricot. Statewide IPM Project, University of California. Revised: (October 16, 20009. Webmaster: ipmig@ucdavis.edu

Asma, B. M., Karaat, F. E., Çuhacı, Ç., Doğan, A., & Karaca, H. Türkiye'de Kayısı Islah Çalışmaları ve Islah Edilen Yeni Çeşitler. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 5(11), 1429-1438, 2017.

Ben-Yehuda, S., Assael, F., & Mendel, Z. Improved chemical control of *Capnodis tenebrionis* and *C. carbonaria* in stone-fruit plantations in Israel. *Phytoparasitica*, 28, 27-41, 2000.

Hazır, A. Doğu Akdeniz bölgesi şeftali ve nektarinlerde zararlı türler ile parazitoit ve predatörlerin saptanması, önemli zararlıların popülasyon gelişmesi ve mücadelede kullanılan bazı pestisitlerin *Chilocorus bipustulatus* L. (Coleoptera: Coccinellidae) a etkisi. 2008)

Hughes, J., Hern, A., & Dorn, S. Preimaginal environment influences adult flight in *Cydia molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology*, 33(5), 1155-1162, 2004.

Karadeniz, T. ve Doğru Çokran, B. Türkiye ve Dünya’da kayısı yetiştiriciliğinin genel durumu. 3rd International Agricultural Congress, 5-9 March 2020, Tunisia. Abstract Book, 46,2020.

Kaya, T., & İpekdağ, K. The first record and barcoding of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in Kırşehir, Turkey. 2018.

Kilic, N., Akbal Budak, E., Dogan, D. Iğdır İli Kayısı Yetiştiriciliğinin Entomolojik Sorunları ve Çözüm Önerileri. O. Şimşek (ed), T. Arık (ed), P. Aliyev (ed), Iğdır araştırmaları. s. 105-125. Sonçağ Akademi. 2023.

Kong, W., Wang, Y., Jia, X., Gao, Y., Fan, R., Li, J., & Ma, R. Emergence and mating behavior of the oriental fruit moth *Cydia molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) and its potential for reproduction. In *Annales de la Société entomologique de France (NS)* (Vol. 55, No. 5, pp. 446-453). Taylor & Francis, 2019, September.

Korkmaz, Y. B., & Yıldırım, E. Evaluation of Hosts and Distribution of *Hyalopterus pruni* (Geoffroy, 1762) and *Sphaerolecanium prunastri* (Boyer de Fonscolombe, 1834), which are Pests of Fruit Trees in Iğdır, Turkey. *ICOFAAS 2023*, 276, 2023.

Korkmaz, Y. B., & Yıldırım, E. Evaluation of Hosts and Distribution of *Hyalopterus pruni* (Geoffroy, 1762) and *Sphaerolecanium prunastri* (Boyer de Fonscolombe, 1834), which are Pests of Fruit Trees in Iğdır, Turkey. *ICOFAAS 2023*, 276, 2023.

Krainacker, D. A., Carey, J. R., & Vargas, R. I. Effect of larval host on life history traits of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*. *Oecologia*, 73, 583-590, 1987.

Mfarrej, M. B. Life cycle of Peach Rootborer *Capnodis tenebrionis* L. (Coleoptera: Buprestidae) on stone-fruit trees. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 6(4), 2010.

Özgen, İ., & Bolu, H. Malatya ili kayısı alanlarında zararlı *Sphaerolecanium prunastri* (Boyer de Fonscolombe, 1834) (Hemiptera: Coccidae) (Erik koşnili)’nin yayılış alanları, bulaşma oranları ve doğal düşmanlarının belirlenmesi. *Turkish Journal of Entomology*, 33(2), 83-91, 2009.

Öztürk, N., & Ulusoy, M. R. Mersin ili kayısılarında saptanan zararlılar. *Alatırım*, 21, 2003.

Öztürk, N., Hazır, A., & Ulusoy, M. R. Mut (Mersin) ilçesinde kayısıda zarar yapan Şeftali güvesi, *Anarsia lineatella* Zeller, 1839 (Lepidoptera: Gelechiidae)’ya karşı çiftleşmeyi engelleme tekniğinin etkinliği. *Turkish Journal of Entomology*, 34(3), 337-350, 2010.

Öztürk, N., Ulusoy, M. R., & Erkılıç, L. Pests and predatory species determined in apricot orchards in Malatya province of Turkey. *Plant Protection Bulletin*, 44(1), 2004

Öztürk, N., ve Hazır, A.. Şeftali güvesi, *Anarsia lineatella* Zell. (Lepidoptera: Gelechiidae)’nın Kayıslardaki Zarar Şekli ve Bazı Biyolojik Özellikleri. *Alatırım*, 51, 2005.

Tezcan, S., & Sarıkaya, O. New locality records for some bark beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) of Türkiye along with updated checklist. *Munis Entomology & Zoology*, 19(1), 175-187, 2024.

Tezcan, S., Evrenosoğlu, Y., Mısırlı, A., Gülcan, R., & Gülperçin, N. Türkiye kayısı çeşitlerinin prunasın içerikleri ve çöğürlerin *Capnodis tenebrionis* (Linnaeus) ve *C. carbonaria* (Klug) (Coleoptera: Buprestidae) ile yapay bulaştırılması. *Turkish Journal of Entomology*, 35(3), 407-422, 2011.

DALLI BUĞDAYDA (*Triticum turgidum* var. *Mirabile*) FARKLI EKİM NORMU VE AZOT DOZU UYGULAMALARININ TANE VERİMİ ÜZERİNE ETKİSİ

Murat AKDAĞOĞLU¹⁾ İsmet BAŞER²⁾

¹⁾ Agricultural Engineer, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Turkey, muratakdag@hotmail.com ORCID ID: 0000-0061-6437-5029

²⁾ Prof. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Tekirdağ, Turkey, ibaser@nku.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-5770-0118

ÖZET

Çalışma 2022-2023 ve 2023-2024 yetiştirme yıllarında Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü deneme alanında yürütülmüştür. Çalışmada metrekaireye 400, 450, 500 ve 550 adet olarak ekim sıklığı ana parsellere uygulanmıştır. Denemede 10 kg/da, 15 kg/da ve 20 kg/da saf azot olarak 3 farklı azot dozu uygulaması yapılmıştır.

Uygulanan 4 farklı ekim sıklığının tane verimi üzerine etkisi incelendiğinde metrekaireye atılan tohum miktarının tane verimini önemli düzeyde etkilediği anlaşılmaktadır. En yüksek tane verimi 400 tohum/m² uygulamasında 252.50 kg/da ile elde edilirken, bunu 251.67 kg/da ile 500 tohum/m² uygulaması izlemiştir. En düşük tane verimi, en yüksek tohum uygulaması olan metrekaireye 550 tohum/m² uygulamasında 222.23 kg/da ile elde edilmiştir. Uygulanan farklı azot dozlarının tane verimine etkisi incelendiğinde en yüksek tane verimi en az saf azot uygulaması olan 10 kg/da saf azot uygulamasında 256.41 kg/da ile elde edilirken, bunu aynı istatistiki grupta yer alan 15 kg/da saf azot uygulaması 241.96 kg/da ile izlemiştir. En düşük tane verimi ise en yüksek saf azot uygulaması olan 20 kg/da uygulamasında 226.29 kg/da ile elde edilmiştir.

GİRİŞ

Buğday dünya çapında 4,5 milyar insanın tükettiği toplam diyet kalorilerinin %21'ini, proteinin %20'sini ve karbonhidratların %55'ini oluşturur. Buğday, dünya nüfusunun %36'sının temel gıdasıdır (Riaz et al. 2021, Khalid, et al. 2023). Buğday, Pirinç ve Mısır, insan beslenmesinde üç ana bitkidir ve 2021'de Mısır, pirinç ve buğdayın küresel hasatları toplam hasatların %90'ını oluşturdu (Budzynski et al. 2018, FAO, 2023).

Buğday, yüksek esnekliği sayesinde çeşitli çevre koşullarına kolayca uyum sağladığı için küresel gıda güvenliği açısından diğer stratejik tahıllara göre önemli bir avantaja sahiptir (Shewry, 2009 and Zubko et al. 2022). Küresel insan nüfusunda gözlemlenen artış nedeniyle buğday, gıda güvenliğini sürdürmek için stratejik bir tahıl ürünü olarak önemli bir rol oynamaya devam edecektir (Budzy'nski, et al.2012). Şu anda, dünya çapında yetiştirilen buğdayın %95'ini ekmeklik buğdaylar (*Triticum aestivum* L.) oluştururken, kalan %5'lik kısım makarnalık buğdaydır (T. durum Dest.)

Buğday yetiştiriciliğinde ekim sıklığı ve azotlu gübre buğday da verim oluşumunu etkileyen kritik faktörlerdir (Shah ve Wu 2019, Gao et al. 2021). Uygun ekim normu, buğdayın su, besin maddeleri ve ışık enerjisinden tam olarak yararlanmasını sağlayabilir (Ma et al. 2018),

Birçok bilim insanı, uygulanacak azot seviyesi hakkında birçok araştırma yapmıştır. Kimyasal gübre uygulaması durdurulursa, toplam küresel ürün verimi yarıya inecektir. (Cordovil et al. 2007). Ayrıca, azotlu gübrenin gereksiz ve aşırı kullanımı yeraltı suyu kirliliği [Jin et al. 2014], sera etkisi, toprak asitlenmesi (Guo et al. 2010) gibi çevre sorunlarına da yol açacaktır. Bu nedenle, yüksek verim ve buğday kalitesi elde ederken azotlu gübrenin akılcı kullanımı buğday üretimi için önemlidir. Bitkiler arasındaki rekabeti hafifletebilir ve makul bir popülasyon yapısı oluşturmaya yardımcı olabilir (Soofizada et al. 2022). Azotlu gübrenin uygun miktarda kullanımı buğdayın sağlıklı büyümesini teşvik edebilir, tane kalitesini iyileştirebilir, verimi artırabilir ve tarımın sürdürülebilir gelişimini sağlayabilir (Liu et al. 2021).

Geniş alanlarda ve kontrolsüz koşullarda üretimi yapılan bitkilerin en önemlisi buğdaydır. Tarımsal üretimde küresel iklim değişiminin etkisinin artması ve daha kaliteli ve farklı beslenme istekleri nedeniyle son yıllarda farklı buğday türleri üzerine ilgi artmıştır. Bu buğday türlerinin başında da siyez ve dallı buğday gelmektedir. Triticum turgidum var. Mirabile, yaygın olarak Vavilov buğdayı, Azerbaycan buğdayı veya Einkorn buğdayı olarak da bilinir.

Dallı buğday, yaklaşık 2 metre yüksekliğe kadar büyüyen uzun bir bitkidir. Bitkinin sapı sağlam ve diktir ve saman renginde bir görünüme sahiptir. Yaklaşık 10 cm uzunluğunda küçük, kompakt buğday başağı üretir. Dallı buğday, yüzyıllardır öncelikli olarak bir gıda kaynağı olarak kullanılmıştır. Temel besinlerle dolu olan taneleri, daha sonra çeşitli unlu mamuller hazırlamak için kullanılan un yapmak için kullanılır. Dallı buğday ayrıca bira yapımında kullanılır ve geleneksel tıp uygulamalarında tıbbi özelliklere sahip olduğu bilinmektedir.

Bu buğday genotiplerinin ekim sıklığı ve uygun azot dozu konusunda yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Çalışmada dallı buğdayda 4 farklı ekim sıklığı (400, 450, 500 ve 550 tohum/metrekare) ve 3 farklı azot dozunda (10, 15 ve 20 kg saf azot/da) tane verimi üzerine etkisi araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOD

Çalışma 2022-2023 ve 2023-2024 yetiştirme yıllarında Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü deneme alanında yürütülmüştür. Çalışmada, tohumlar metrekareye 400, 450, 500 ve 550 adet olarak, farklı ekim sıklıklarında ana parsellere uygulanmıştır.

Denemede 10 kg/da, 15 kg/da ve 20 kg/da saf azot olarak 3 farklı azot dozu uygulaması yapılmıştır. Saf azotun 5 kg'lık kısmı, tüm parsellere ekim ile birlikte 20.20.0 kompoze gübresi ile taban gübresi şeklinde verilmiştir (Çizelge 1). Taban gübresi uygulanması ile azotun yanında 5 kg/da saf fosfor da verilmiştir. Geriye kalan saf azot uygulamaları ise üst gübre olarak Zadoks

skalasındaki büyüme-gelişme dönemleri ve yağışlar dikkate alınarak Çizelge 1’de görüldüğü gibi 4 değişik şekilde uygulanmıştır.

Çizelge 1. Uygulanan gübre miktarları ve zamanları

Uygulamalar	Ekim ile Birlikte	Kardeşlenme (Zadoks 21)	Kardeşlenme (Zadoks 25)	Sapa Kalkma (Zadoks 37)
10	5 kg/da saf N	5 kg/da saf N	-	-
15	5 kg/da saf N	6 kg/da saf N	4 kg/da saf N	-
20	5 kg/da saf N	7 kg/da saf N	4 kg/da saf N	4 kg/da saf N

Ayrıca yabancı ot kontrolü için 2 g/da mustang atılmış ve kök boğazı ve pas için ilaç kullanılmamıştır. Denemede ekimler parsel ekim makinası ile yapılmış her parsel 5 metre uzunluğunda 15 cm sıra arasında 6 sıradan oluşmuştur. Hasat olgunluğuna gelen bitkiler Hege 160 parsel biçerdöveri ile hasat edilerek 5.10 metrelik alandan elde edilen tane verimi değerleri dekara tane verimine çevrilmiştir.

Elde edilen verilerin istatistiki analizleri bölünmüş parseller deneme desenine göre Tarist istatistik programı kullanılarak yapılmış, elde edilen ortalamalar arasındaki farklılıklar Duncan önemlilik testi ile belirlenmiştir.

ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

2022-2023 ve 2023-2024 yetiştirme yıllarında, dallı buğday genotipinin 4 farklı ekim sıklığında ve 3 farklı azot dozu uygulamasından elde edilen tane verimi değerlerinde varyans analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Dalli buğday genotipi tane veriminde varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	S. D.	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Hesap	F Tablo %5	F Tablo %1
Tekerrür	2	45.86	22.93	0.09	3.59	6.11
Yıl	1	48,672.00	48,672.00	197.30**	4.45	8.40
Ekim Sıklığı	3	10,707.66	3,569.22	14.46**	3.20	5.18
Hata 1	17	4,193.58	246.68			
Azot Dozu	2	10,896.02	5,448.01	14.49**	3.23	5.18
Ekim Sıklığı x Azot Dozu İnt.	6	1,282.08	213.68	0.56	2.34	3.29
Hata	40	15,036.55	375.91			

Genel 71 90,833.77 DK: 8.03

*: %5 seviyesinde önemli, **: %1 seviyesinde önemli

Elde edilen varyans analiz sonucuna göre, yıl, ekim sıklığı ve azot dozu istatistiki olarak 0.01 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ekim sıklığı x azot dozu interaksyonu önemsiz bulunmuştur. Ekim sıklığı ve azot dozları ile ilgili elde edilen ortalama değerler ve önemlilik grupları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Dallı buğdayda ekim sıklığı ve farklı azot dozlarında ortalama değerler ve önemlilik grupları

Ekim sıklığı	Ortalama verim	Önemlilik grupları	Azot dozu	Ortalama verim	Önemlilik grupları
400	252.50	a	10	256.42	a
450	239.72	a	15	241.96	a
500	251.67	a	20	226.29	b
550	222.33	b			

Uygulanan 4 farklı ekim sıklığının tane verimi üzerine etkisi incelendiğinde metrekareye atılan tohum miktarının tane verimini önemli düzeyde etkilediği anlaşılmaktadır. En yüksek tane verimi 400 tohum/m² uygulamasında 252.50 kg/da ile elde edilirken, bunu 251.67 kg/da ile 500 tohum/m² uygulaması izlemiştir. En düşük tane verimi, en yüksek tohum uygulaması olan metrekareye 550 tohum/m² uygulamasında 222.23 kg/da ile elde edilmiştir.

Uygulanan farklı azot dozlarının tane verimine etkisi incelendiğinde en yüksek tane verimi 10 kg/da saf azot uygulamasında 256.41 kg/da ile elde edilirken, bunu aynı istatistiki grupta yer alan 15 kg/da saf azot uygulaması 241.96 kg/da ile izlemiştir. En düşük tane verimi ise en yüksek saf azot uygulaması olan 20 kg/da uygulamasında 226.29 kg/da ile elde edilmiştir. Ekim sıklığı x azot dozu interaksyonu ortalama değerleri ve önemlilik grupları Çizelge 4’de verilmiştir.

Elde edilen veriler uzun bitki boyuna sahip olan dallı buğdayda 400-450 tohum/m² kullanımının yeterli olduğunu, tohum miktarı arttığında verimin azaldığını özellikle 550 tohum/m² kullanımında dekara 30 kg’dan fazla verim kaybının olduğu görülmektedir. Bir diğer deyişle tane verimi %12 düzeyinde azalmaktadır. Farklı azot dozları olan 10 ve 15 kg/da uygulamalarından elde edilen değerler arasında istatistiki olarak fark olmaması nedeniyle en düşük azot dozu olan 10 kg/da saf azot uygulamasının dallı buğday üretiminde yeterli ve daha ekonomik olduğu anlaşılmaktadır. Dallı buğdayda farklı ekim sıklığı uygulamasında farklı azot dozu uygulamanın tane verimi üzerine etkisini ortaya koymak için elde edilen interaksyon ortalama değerleri Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Dallı buğdayda ekim sıklığı x azot dozu interaksiyonu ortalama değerleri

Ekim sıklığı	Azot dozu	Ort.	Ekim sıklığı	Azot dozu	Ort.
400	10	268.50	500	10	260.00
	15	254.16		15	255.33
	20	234.83		20	239.66
450	10	262.83	550	10	234.33
	15	232.66		15	225.66
	20	223.66		20	207.00

Dallı buğdayda farklı ekim sıklıklarında, farklı azot dozlarının tane verimi üzerine etkisi incelendiğinde en yüksek tane verimi 268.50 kg/da ile 400 tohum/m² ve 10 kg/da saf azot uygulamasında elde edilmiştir. Bunu 262.83 kg/da ile 450 tohum/m² ve 10 kg/da saf azot uygulaması ve 260.00 kg/da ile 500 tohum/m² ve 10 kg saf azot uygulaması izlemiştir. Elde edilen veriler dallı buğdayda metrekareye 400-450 tohum ve dekara 10-15 kg saf azot uygulamasının en yüksek tane verimi sağladığı görülmektedir. Arazi koşullarına göre metrekareye 400-450 tohum ve ekonomik olarak daha uygun olması nedeniyle 10 kg/da saf azot uygulaması dallı buğday üretimi için uygun görülmektedir. En düşük tane verim değerleri ise 207.00 kg/da ile 550 tohum ve 20 kg/da saf azot uygulamasında olmuş, bunu 225.66 kg/da ile 550 tohum ve 15 kg/da saf azot uygulaması izlemiştir.

SONUÇ

Dallı buğdayda en yüksek tane verimi 268.50 kg/da ile 400 kg tohum/m² uygulaması ve 10 kg/da azot uygulaması, en düşük verim elde edilen 550 tohum uygulaması ve 20 kg/da saf azot uygulaması yapıldığında 207.00 kg da ile dekarda %22.90 verim kaybı ile olmuştur. En düşük tane verimi dekara 20 kg saf azot uygulamasında ve metrekareye en fazla tohum uygulaması olan 550 adet tohumda uygulamasında olması dallı buğday genotipinin, fazla tohum ve azot oranından olumsuz etkilediğini göstermektedir. Uzun boylu bir buğday genotipi olan dallı buğdayın, metrekareye düşen tohum sayısı arttıkça tane veriminin düştüğü, benzer olarak azot dozu uygulaması arttıkça verimde azalma meydana geldiği görülmektedir. Dallı buğdayda metrekareye 400 tohum uygulaması ve 10 kg/da saf azot uygulamaları etkin bir üretim için en uygun dozlardır.

Teşekkür: Bu çalışma birinci yazarın doktora tezinin sonuçlarının bir kısmından yararlanarak hazırlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Riaz, M.W.; Yang, L.; Yousaf, M.I.; Sami, A.; Mei, X.D.; Shah, L.; Rehman, S.; Xue, L.; Si, H.; Ma, C. Effects of heat stress on growth, physiology of plants, yield and grain quality of different spring wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Sustainability* 2021, 13, 2972.
- Khalid, A.; Hameed, A.; Tahir, M.F. Wheat quality: A review on chemical composition, nutritional attributes, grain anatomy, types, classification, and function of seed storage proteins in bread making quality. *Front. Nutr.* 2023, 10, 1053196. [CrossRef]
- Budzyński, W.S.; Bepirszcz, K.; Jankowski, K.J.; Dubis, B.; Hłasko-Nasalska, A.; Sokółski, M.M.; Olszewski, J.; Załuski, D. The responses of winter cultivars of common wheat, durum wheat and spelt to agronomic factors. *J. Agric. Sci.* 2018, 156, 1163–1174.
- Faostat, Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. 2023. Available online: <http://www.apps.fao.org/faostat/en/#home>.
- Shah, F.; Wu, W. Soil and Crop Management Strategies to Ensure Higher Crop Productivity within Sustainable Environments. *Sustainability* 2019, 11, 1485.
- Gao, Y.; Zhang, M.; Yao, C.; Liu, Y.; Wang, Z.; Zhang, Y. Increasing seeding density under limited irrigation improves crop yield and water productivity of winter wheat by constructing a reasonable population architecture. *Agric. Water Manag.* 2021, 253, 106951.
- Liu, W.-Y.; Wu, C.-C.; Wang, S.-Y.S. Forest Management and Adaptation Strategies in Response to Climate Change by the Taiwanese Public. *Atmosphere* 2021, 12, 1056.
- Soofizada, Q.; Pescatore, A.; Guerrini, L.; Fabbri, C.; Mancini, M.; Orlandini, S.; Napoli, M. Effects of Nitrogen plus Sulfur Fertilization and Seeding Density on Yield, Rheological Parameters, and Asparagine Content in Old Varieties of Common Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy* 2022, 12, 351.
- Ma, S.-C.; Wang, T.-C.; Guan, X.-K.; Zhang, X. Effect of sowing time and seeding rate on yield components and water use efficiency of winter wheat by regulating the growth redundancy and physiological traits of root and shoot. *Field Crop. Res.* 2018, 221, 166–174.
- Cordovil, C.M.d.s.; Cabral, F.; Coutinho, J. Potential mineralization of nitrogen from organic wastes to ryegrass and wheat crops. *Bioresour. Technol.* 2007, 98, 3265–3268.
- Jin, L.; Hu, K.; Deelstra, J.; Li, B.; Wei, D.; Wang, H. Evaluation of nitrogen fate, water and nitrogen use efficiencies of winter wheat in North China Plain based on model approach. *Acta Agric. Scand. Sect. B-Soil Plant Sci.* 2014, 63, 127–138.

Guo, R.; Nendel, C.; Rahn, C.; Jiang, C.; Chen, Q. Tracking nitrogen losses in a greenhouse crop rotation experiment in North China using the EU-Rotate_N simulation model. Environ. Pollut. 2010, 158, 2218–2229.

ATAMA PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN ARI KOLONİSİ OPTİMİZASYONU

Dr. Onur Mesut ŞENARAS

Bursa Uludağ Üniversitesi

osenaras@gmail.com- <https://orcid.org/0000-0002-4295-801X>

Doç. Dr. Şahin İNANÇ

Bursa Uludağ Üniversitesi

sahininanc@uludag.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-0603-1604>

Prof.Dr. Arzu EREN ŞENARAS

Bursa Uludağ Üniversitesi

arzueren@uludag.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-3862-4551>

ÖZET

Arı Kolonisi Optimizasyonu, özellikle kapsamlı ve karmaşık atama problemlerine uygulanabilen ilgi çekici bir çözümü temsil etmektedir. Bu algoritma, çözümler üzerinde hızlı bir şekilde yakınsama konusunda usta olmasına rağmen, aynı zamanda birden fazla yerel minimuma inme zorluğuyla da boğuşmaktadır. Çeşitli avantajlar sunarak kendisini klasik metodolojilerden ayırır: çözüm uzayını etkili bir şekilde geçme kapasitesi çok önemlidir. Bu özellikleri nedeniyle algoritma, üretim planlama, lojistik ve kaynak tahsisi dahil olmak üzere çeşitli endüstriyel sektörlerde uygulanabilirlik buluyor. Python, öncelikle zengin kütüphane desteği nedeniyle Arı Kolonisi Optimizasyonunu uygulamak için sağlam ve çok yönlü bir araç olarak ortaya çıkmaktadır. Python'da bulunan kaynakların geniş olması hem algoritmanın geliştirilmesini hem de çözüm sürelerinin hızlandırılmasını kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmanın amacı, atama problemlerini Arı Kolonisi Optimizasyonu kullanarak Python uygulamasının geliştirilmesidir. Atama problemlerini Arı Kolonisi Optimizasyonu yoluyla çözmek için Python'u kullanmak, etkili ve uyarlanabilir bir yaklaşım sağlar.

Anahtar Kelimeler: Arı Kolonisi Optimizasyonu, Atama Problemleri, Python Programlama.

1.GİRİŞ

Atama problemleri, çok sayıda kaynak ve hedefin optimal bir şekilde eşleştirilmesi gerektiği matematiksel ve endüstriyel problemlerin çözümünde önemli bir yer tutmaktadır. Bu tür problemler, çeşitli sektörlerde, özellikle üretim, lojistik, ulaşım, sağlık ve kaynak yönetimi gibi alanlarda karşılaşılan karmaşık ve çok yönlü optimizasyon ihtiyaçlarını karşılamada yaygın olarak kullanılır. Atama problemlerinin çözümü, genellikle bir dizi kısıtlama altında en iyi çözümü bulmaya yönelik olduğu için, bu tür problemler yüksek çözüm karmaşıklığına sahip

olabilir. En bilinen atama problemi türlerinden biri, "eşleştirme problemi" veya "iş gücü atama problemi" olup, burada amaç, her bir işin bir çalışana en verimli şekilde atanmasıdır (Hung, 2007).

Atama problemleri, genellikle tam sayılı doğrusal programlama, dinamik programlama veya genetik algoritmalar gibi çeşitli optimizasyon teknikleriyle çözülür. Ancak, bu geleneksel yöntemler bazen büyük ölçekli ve yüksek karmaşıklığa sahip problemlerle başa çıkmada yetersiz kalabilir. Bu noktada, evrimsel algoritmalar ve sezgisel yöntemler, daha esnek ve verimli çözümler sunmak için güçlü alternatifler olarak öne çıkmaktadır. Arı Kolonisi Algoritması (ARI), bu sezgisel yöntemlerden biri olup, özellikle yerel ve küresel arama stratejilerini başarılı bir şekilde birleştirerek atama problemlerine etkin çözümler sunabilmektedir. ARI, çözüm uzayındaki farklı bölgelere arıların keşif yaparak yönlendirilmesi prensibiyle çalışarak, büyük ve karmaşık atama problemlerinde başarılı sonuçlar elde etmektedir (Karaboga, 2005; Yang, 2005).

2. YÖNTEM

Arı Kolonisi Algoritması, doğada bal arılarının yiyecek bulma ve kolonilerini düzenleme davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş bir optimizasyon tekniğidir. ARI algoritması, popülasyon tabanlı bir yöntem olup, her birey (arı) çözüm uzayında keşif yapar ve en iyi çözümü bulmak için birbirleriyle işbirliği yapar. Bu özellik, atama problemleri gibi geniş çözüm alanlarına sahip ve birden fazla optimal çözümün bulunduğu durumlarda önemli bir avantaj sağlamaktadır. Arı kolonisi algoritmasının paralel işleme kapasitesi ve çevresel keşif yeteneği, atama problemleri gibi zorlayıcı optimizasyon görevlerinde çözüm arayışını hızlandırır (Karaboga, 2005). Bu nedenle, ARI algoritması, çok sayıda işin ya da kaynağın en uygun şekilde atanmasını sağlayan atama problemlerine yönelik etkili bir çözüm yöntemi olarak kullanılmaktadır (Tuan ve Thanh, 2012).

Bu çalışmada, atama problemlerine yönelik çözüm yöntemleri arasında ARI algoritmasının kullanımını ele alınmıştır. Algoritmanın temel işleyişi ve bu problemlere yönelik uygulama alanları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca, ARI algoritmasının atama problemleri üzerindeki performansı, karşılaşılan zorluklar ve iyileştirme fırsatları üzerine yapılan araştırmalar değerlendirilmiştir.

3. UYGULAMALAR

Atama problemi, genel olarak bir dizi işin veya görevin bir dizi çalışana veya kaynağa en uygun şekilde atanması gerektiği bir optimizasyon problemidir. Bu tür problemler, genellikle bir

maliyet matrisi ile tanımlanır ve amaç, her işin bir çalışana atanması için toplam maliyeti minimize etmektir.

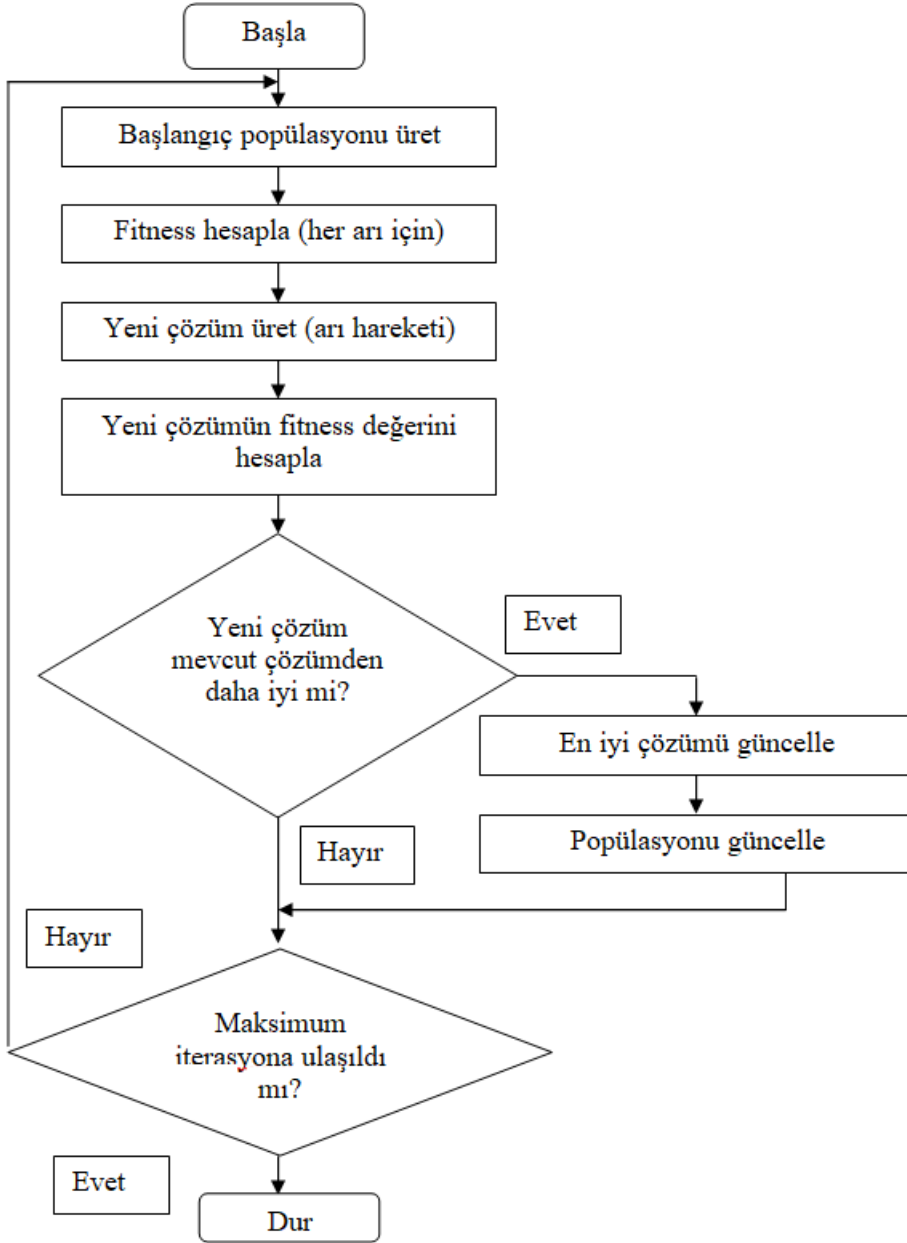
3 işçi ve 3 işten oluşan bir atama problemi için aşağıdaki gibi bir maliyet matrisimiz olsun:

İşçi 1 için işlerin maliyetleri: [4, 3, 6]

İşçi 2 için işlerin maliyetleri: [6, 4, 2]

İşçi 3 için işlerin maliyetleri: [3, 5, 7]

Bu çalışmanın amacı bu matrisi optimize etmek için, her işin bir çalışana atanması sonucu toplam maliyetin en düşük olmasını sağlamaktır. Arı kolonisi optimizasyonu kullanarak Python programı geliştirilmiştir. Arı kolonisi optimizasyonu için Python programı akış çizgesi Görsel 1'deki gibidir.



Görsel 1. Arı Kolonisi Optimizasyonu için Python Programı Akış Çizgesi

İşçi ve işlere ilişkin maliyet matrisi Çizge 1'deki gibidir.

Çizge 1. Maliyet Matrisi

	İş 1	İş 2	İş 3
İşçi 1	4	3	6
İşçi 2	6	4	2
İşçi 3	3	5	7

Bu atama probleminde, her işin bir çalışana atanması ve toplam maliyetin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Arı Kolonisi Algoritması (ARI), popülasyon tabanlı bir sezgisel optimizasyon yöntemidir. Bu algoritma, bal arılarının yiyecek arama ve toplama davranışlarından ilham almaktadır. Atama problemleri gibi optimizasyon görevlerinde ARI algoritması, çözüm alanındaki en iyi çözümleri bulmak için arıların yerel ve küresel arama yöntemlerini kullanmaktadır.

Arı Kolonisi Algoritması Python Kodları Ekran Görüntüsü Görsel 2'deki gibidir.

```
def bee_colony_algorithm():  
    global best_solution, best_cost  
    bees = [generate_solution() for _ in range(num_bees)] # Başlangıç çözümleri  
    costs = [fitness(bee) for bee in bees] # Başlangıç maliyetleri  
  
    for iter in range(max_iter):  
        for i in range(num_bees):  
            current_solution = bees[i]  
            current_cost = costs[i]
```

Görsel 2. Arı Kolonisi Algoritması Python Kodları Ekran Görüntüsü

4. BULGULAR

Program çalıştırıldığında, her iterasyonda en iyi çözüm ve maliyet ekrana yazdırılır.

Örneğin:

Iteration 1: Best Cost = 9

Iteration 2: Best Cost = 7

Iteration 3: Best Cost = 6

En İyi Çözüm (İşçi Atamaları): [2, 0, 1]

En İyi Maliyet: 6

Bu çıktı, en iyi çözümün işçi 1'in iş 3'e, işçi 2'nin iş 1'e ve işçi 3'ün iş 2'ye atanması olduğunu gösterir ve toplam maliyetin 6 olduğunu belirtmektedir.

5. SONUÇ

Bu program, atama problemlerine yönelik ARI algoritmasının nasıl uygulanabileceğini ve atama probleminde maliyeti minimize etme sürecini göstermektedir. Arı Kolonisi Algoritması, özellikle karmaşık ve büyük ölçekli atama problemleri için etkili bir sezgisel yöntemdir. Arı Kolonisi Algoritması, atama problemleri gibi karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için etkili bir yöntemdir. Akış diyagramı ve algoritma, bu sürecin temel adımlarını açıkça gösterirken, her adımda nasıl karar verildiğini ve çözümün nasıl geliştirilip iyileştirildiğini

anlamaya yardımcı olur. Bu algoritma, yerel ve küresel arama stratejilerinin birleşimi sayesinde, büyük çözüm uzaylarında hızlı ve doğru sonuçlar elde edebilir.

KAYNAKÇA

Hung, H. H. (2007). *An assignment problem solution based on the Hungarian method*. Journal of Automation and Control Engineering, 1(3), 276-280.

Karaboga, D. (2005). *An idea based on honey bee swarm for numerical optimization*. Technical report-TR06, Erciyes University.

Tuan, L. A., & Thanh, T. D. (2012). *A hybrid algorithm based on bee colony and particle swarm optimization for solving global optimization problems*. International Journal of Computer Science Issues, 9(6), 127-133.

Yang, X. S. (2005). *A new metaheuristic bat-inspired algorithm*. In Proceedings of the 2005 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (pp. 1-7). IEEE.

YOL PLANLAMASI İÇİN PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

Dr.Onur Mesut ŞENARAS

Bursa Uludağ Üniversitesi

osenaras@gmail.com- <https://orcid.org/0000-0002-4295-801X>

Doç.Dr.Şahin İNANÇ

Bursa Uludağ Üniversitesi

sahininanc@uludag.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-0603-1604>

Prof.Dr.Arzu EREN ŞENARAS

Bursa Uludağ Üniversitesi

arzueren@uludag.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-3862-4551>

ÖZET

Yol planlaması, çeşitli engelleri aşarken bir başlangıç noktasından belirlenmiş bir hedefe kadar en uygun yörüngeyi belirlemeyi amaçladığı için robotik, otonom araçlar ve drone navigasyonu alanlarında çok önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Bu çalışmanın amacı, kuş ve su türlerinin sergilediği sosyal davranışlardan ilham alan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritmasını kullanarak yol planlama için Python uygulamasının geliştirilmesidir. Algoritmanın verimliliği, çözüm alanı içerisinde keşif ve kullanım arasındaki hassas denge sayesinde önemli ölçüde artırılmaktadır. Her yolun uygunluğunun değerlendirilmesi, yolun uzunluğuna ve engellerden kaçmadaki etkinliğine bağlıdır. Ardışık yinelemeler boyunca parçacıklar yinelemeli olarak hızlarını ve konumlarını ayarlar ve sonuçta en uygun çözüme yakınsar. Algoritmanın dinamik ortamlara uyum sağlama konusundaki doğal kapasitesinin yanı sıra optimal veya optimale yakın yolları bulma becerisi, PSO'yu özellikle otonom araç navigasyonu alanında pratik uygulamalar için umut verici bir strateji haline getirmektedir. Ancak gerçek dünya senaryolarının karmaşıklığı beklenmedik değişkenleri ortaya çıkarabileceğinden zorluklar devam etmektedir.

1. GİRİŞ

Yol planlaması, ulaşım altyapılarının verimli ve sürdürülebilir bir şekilde tasarlanması ve yönetilmesi amacıyla önemli bir optimizasyon problemidir. Özellikle şehirleşmenin hızla

arttığı günümüzde, yol ağlarının tasarımı, trafik yoğunluğunun azaltılması ve kaynakların daha etkin kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır. Geleneksel yol planlama yöntemleri, genellikle fiziksel engeller, trafik akışları ve maliyetler gibi parametreleri hesaba katarak çözümler üretse de, bu tür problemler büyük ölçekli ve karmaşık hale geldiğinde daha gelişmiş optimizasyon tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO), yol planlaması gibi karmaşık ve çok boyutlu problemlere çözüm getirmek için etkili bir sezgisel yöntem olarak öne çıkmaktadır (Kennedy & Eberhart, 1995).

2. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

Parçacık Sürüsü Optimizasyonu, 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından geliştirilmiş, biyolojik bir ilhamdan (kuş sürülerinin hareketi) esinlenerek tasarlanmış bir optimizasyon algoritmasıdır (Kennedy & Eberhart, 1995). PSO, bireylerin (parçacıkların) çözüm uzayındaki diğer bireylerle etkileşimde bulunarak global bir çözüm bulma sürecini simüle eder. Her parçacık, çözüm alanındaki bir nokta olarak hareket eder ve çözüm uzayında en iyi çözümü arayarak, diğer parçacıklar ile işbirliği yapar. Yol planlamasında, bu yöntem, yol güzergahları, trafik akışları ve altyapı maliyetlerini minimize etmeyi hedefler (Clerc & Kennedy, 2002). PSO'nun bu bağlamdaki başarısı, çok sayıda parametreyi ve kısıtlamayı dikkate alarak etkili bir şekilde optimum çözümü bulma yeteneğinden kaynaklanmaktadır (Gazi, 2004). Yol planlamasında PSO'nun kullanımı, hem karasal hem de deniz taşımacılığı için çeşitli zorlukları ve engelleri aşmaya yönelik önemli avantajlar sunmaktadır. Çeşitli araştırmalar, PSO'nun, yol ağlarının iyileştirilmesi, trafik optimizasyonu ve ulaşım altyapısının sürdürülebilirliği konularında etkili çözümler sunduğunu göstermektedir. Özellikle, yol ağları üzerinde trafik yoğunluğunun yönetilmesi, yol güzergahlarının en uygun şekilde planlanması ve kaynakların verimli kullanılması gibi sorunlarda PSO'nun sağladığı üstün başarı, bu yöntemlerin kullanımını yaygınlaştırmıştır (Jiang & He, 2011; Li & Liu, 2016). Bu çalışmalarda, PSO'nun yüksek çözünürlükteki veri setleri ile verimli çalışarak, karışık kısıtlamalar altında dahi optimum çözümler sunduğu ortaya konmuştur. Bu çalışmada, yol planlamasında Parçacık Sürüsü Optimizasyonu yönteminin uygulanabilirliği ve bu yöntemin potansiyel avantajları tartışılacaktır. PSO'nun yol planlama problemlerindeki kullanımı, algoritmanın temelleri ve çözüm sürecindeki etkinliği detaylı bir şekilde ele alınarak, PSO tabanlı yol planlamasının gelecekteki araştırmalar için nasıl bir alan oluşturduğu irdelenecektir (Sivanandam & Deepa, 2008).

3. UYGULAMA

Bu çalışmada, bir şehirdeki yol ağını optimize etmek için Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) yöntemi kullanılmıştır. Bu yol ağı, şehri bir merkezden farklı semtlere bağlayan yolları temsil etmektedir. Her yol segmentinin bir maliyeti (örneğin, inşa maliyeti, bakım maliyeti veya trafik yoğunluğu) vardır. Amaç, şehri en düşük maliyetle birbirine bağlayacak olan yol ağını bulmaktır. Bu problemi çözmek için PSO algoritmasını kullanılmıştır. 5 semt (A, B, C, D, E) ve bunları birbirine bağlayacak 10 yol segmenti bulunmaktadır. Her yolun bir maliyeti vardır. Bu çalışmanın amacı, yol ağını, toplam maliyeti minimize ederek planlamaktır.

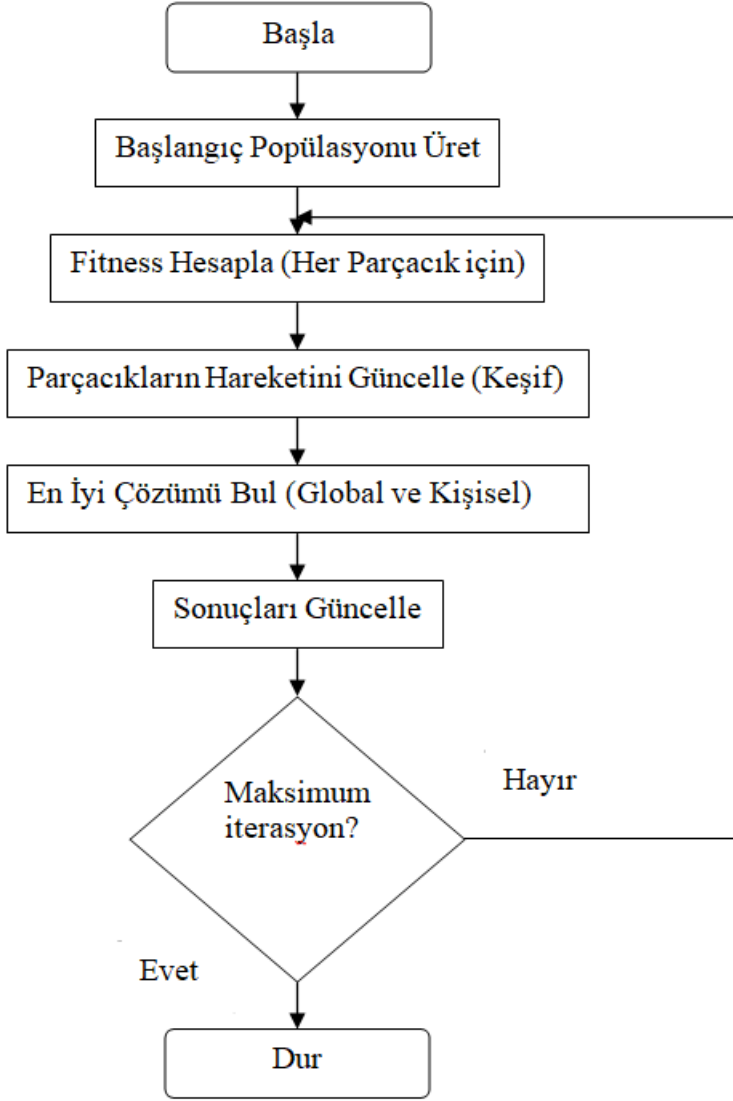
Çizelge 1. Yol Segmenti Maliyetleri

Başlangıç Semti	Bitiş Semti	Maliyet
A	B	10
A	C	20
A	D	30
A	E	40
B	C	15
B	D	25
B	E	35
C	D	10
C	E	50
D	E	5

Bu çalışmanın amacı, 5 semti birbirine bağlayan yol ağını toplam yol maliyetini minimize ederek planlamaktır.

Akış Diyagramı:

Aşağıda PSO algoritmasının yol planlaması problemine nasıl uygulandığını gösteren bir akış diyagramı Görsel 1'deki gibidir.



Görsel 1. PSO algoritması için Akış Çizgesi

Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ile Yol Planlaması Python kodu ile geliştirilmiştir. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritmasının Python dilinde bir uygulama kodları Görsel 2'deki gibidir.

```
class Particle:
    def __init__(self):
        self.solution = {key: random.choice([0, 1]) for key in roads.keys()} # Rastgele çözüm
        (0: yol yok, 1: yol var)
        self.velocity = {key: random.uniform(-1, 1) for key in roads.keys()} # Rastgele hız
        self.best_solution = self.solution.copy()
        self.best_fitness = self.fitness(self.solution)

    def fitness(self, solution):
        total_cost = sum([roads[key] for key in solution if solution[key] == 1]) # Seçilen
        yolların maliyeti
```

Görsel 2. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritmasının Python dilinde bir uygulama kodlarından Bir Görüntü

4. BULGULAR

Yol segmentleri ve maliyetleri aşağıdaki gibidir.

roads = { ('A', 'B'): 10, ('A', 'C'): 20, ('A', 'D'): 30, ('A', 'E'): 40, ('B', 'C'): 15, ('B', 'D'): 25, ('B', 'E'): 35, ('C', 'D'): 10, ('C', 'E'): 50, ('D', 'E'): 5}

Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) Parametreleri

num_particles = 30 Parçacık sayısı

num_iterations = 100 Iterasyon sayısı

inertia_weight = 0.5 Eylemsizlik ağırlığı

cognitive_weight = 1.5 Bireysel öğrenme ağırlığı

social_weight = 1.5 Sosyal öğrenme ağırlığı

Her bir parçacık, yol ağını temsil eder. Her yol segmenti için 0 (yol yok) veya 1 (yol var) değeri ile çözüm oluşturulur. Fitness fonksiyonu, toplam maliyetin tersini alır (daha düşük maliyet daha iyi çözüm anlamına gelir). Parçacıklar, hızlarını günceller ve en iyi çözüm bulmaya çalışır.

En uygun rota: (E, D, C, B, A)

En düşük maliyet: 40.0 birim

Parçacık sürü optimizasyonu kullanarak geliştirilen Python program sonuçlarına göre, en uygun rota; E-D- C-B-A olarak elde edilmiştir. En düşük maliyet ise 40 birimdir.

5. SONUÇ

Sonuç olarak, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritması, yol planlaması problemini çözmek için etkili bir yöntem olarak başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Uygulama, belirli bir iterasyon süresi boyunca yol ağındaki segmentlerin seçimlerini optimize ederek, en düşük maliyetli çözümü bulmayı amaçlamıştır. Bu süreçte, her bir parçacık çözüm uzayında hareket ederken, hem kişisel en iyi çözümlerini hem de popülasyonun küresel en iyi çözümünü kullanarak çözümünü güncellemektedir. Sonuç olarak, en uygun yol ağının seçilmesi sağlanmış ve toplam maliyet minimuma indirilmiştir.

PSO algoritması, yol planlaması gibi karmaşık optimizasyon problemleri için güçlü bir sezgisel yöntem sunmaktadır. Algoritma, çözüm uzayında farklı kombinasyonları keşfederek en düşük maliyeti hedeflemektedir. Ancak, algoritmanın performansı, kullanılan parametrelerin doğru ayarlanmasına bağlıdır. Bu tür problemlerde PSO'nun parametrelerini optimize etmek, daha hızlı ve kaliteli çözümler elde etmek için kritik öneme sahiptir. Gelecekte, PSO algoritmasının

hibrit yöntemlerle birleştirilmesi veya parametre optimizasyonunun geliştirilmesi, çözüm kalitesini ve verimliliği daha da artırabilir.

KAYNAKÇA

Clerc, M., & Kennedy, J. (2002). *The particle swarm—Explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space*. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6(1), 58-73. <https://doi.org/10.1109/4235.985692>

Gazi, V. (2004). *Particle swarm optimization for optimal design of large scale engineering problems*. Engineering Optimization, 36(5), 671-687. <https://doi.org/10.1080/03052150410001666656>

Jiang, Y., & He, S. (2011). *Particle swarm optimization for multi-objective optimization problems in road network design*. Journal of Transportation Engineering, 137(10), 677-686. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000260](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000260)

Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). *Particle swarm optimization*. In Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks (pp. 1942–1948). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>

Li, Y., & Liu, H. (2016). *Application of particle swarm optimization in road network design*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 64, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.01.015>

Sivanandam, S. N., & Deepa, S. N. (2008). *Introduction to Particle Swarm Optimization*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-78857-1>

LabVIEW TABANLI TITREŞİM-GENLİK ÖLÇÜM KANALLARININ ANALIZI VE SIMÜLASYONU

Leyla Hüseynova

Sumgayit State University

leylahuseyn0410@gmail.com - 0009-0009-5223-5382

Özet

Titreşim genliklerinin doğru ölçülmesi, makine teşhisi, yapısal sağlık izleme ve hassas üretim süreçleri gibi birçok mühendislik alanında büyük öneme sahiptir. Bu çalışma, LabVIEW programlama ortamı kullanarak bir titreşim-genlik ölçüm kanalı oluşturulması ve simülasyonu üzerine odaklanmaktadır. Araştırma, titreşim sensörlerinin ve bunlara karşılık gelen ölçüm kanallarının işlevsel davranışlarını taklit eden bir sanal enstrümantasyon çerçevesi tasarlamayı amaçlamaktadır, böylece performans analizini geliştirmeyi mümkün kılmaktadır.

Geliştirilen sistem, güvenilir ölçümler sağlamak için sinyal işleme algoritmaları, gürültü azaltma teknikleri ve genlik algılama mekanizmaları gibi anahtar bileşenleri içermektedir. Gerçek dünya çalışma koşullarını taklit eden bir simülasyon modeli oluşturulmuş, sensör konfigürasyonlarının kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi ve optimize edilmesi sağlanmıştır. Dinamik sinyal analizi, filtreleme yöntemleri ve dalga biçimi görselleştirmesi gibi ileri düzey LabVIEW özellikleri, ölçüm sürecinin hassasiyetini ve sağlamlığını artırmak için kullanılmıştır.

Titreşim-genlik ölçüm kanallarının simülasyonu, makine teşhisi, yapısal izleme ve endüstriyel uygulamalarda güvenilir ve verimli sistemler geliştirilmesi için kritik öneme sahiptir. Bu tez, titreşim ölçüm sistemlerine yönelik olarak LabVIEW tabanlı bir simülasyon çerçevesinin tasarımı ve uygulanmasını araştırmaktadır. Çalışma, titreşim sensörlerinin ve ölçüm kanallarının davranışlarını modellemek için sanal bir ortam oluşturulmasına, sinyal doğruluğu ve sistem performansına odaklanmaktadır.

Önerilen simülasyon, gürültü azaltma, filtreleme ve genlik algılama algoritmaları gibi gelişmiş sinyal işleme tekniklerini entegre etmektedir. LabVIEW'in grafik programlama yeteneklerinden faydalanarak, çerçeve, simüle edilmiş çalışma koşulları altında dinamik sinyallerin görselleştirilmesine ve analizine olanak tanımaktadır. Araştırma, sistemin performansını çeşitli senaryolar altında değerlendirerek, doğruluğu ve güvenilirliği artırmak için parametreleri optimize etmektedir.

Sonuçlar, farklı simüle edilmiş senaryolarda sinyal netliği ve ölçüm doğruluğunda önemli gelişmeler olduğunu ortaya koymuş ve önerilen sistemin etkinliğini göstermektedir. LabVIEW tabanlı yaklaşımın gerçek dünya koşullarını etkili bir şekilde simüle edebildiği ve titreşim ölçüm sistemlerinin tasarım ve işlevselliğine dair değerli bilgiler sağladığı görülmüştür. Çalışma, geliştirme maliyetlerini azaltırken sistemin uyum yeteneğini ve sağlamlığını artırma potansiyelini vurgulamaktadır. Bu çalışma, ileri düzey titreşim izleme ve teşhis araçları geliştiren mühendisler ve araştırmacılar için bir referans kaynağıdır.

Anahtar Kelimeler: Titreşim ölçümü, LabVIEW simülasyonu, sinyal işleme, genlik algılama, performans optimizasyonu.

TITREŞİM KAVRAMI

Titreşim, bir sistemin denge noktasının etrafında yaptığı osilasyonel harekettir. Bu hareket, dışarıdan gelen bir kuvvetin veya bozulmanın etkisiyle başlar ve sistem, ileri-geri hareket ederek bu enerjiyi iletir. Titreşimler, periyodik (belirli aralıklarla tekrar eden) veya periyodik olmayan (düzensiz) şekilde olabilir ve doğada ya da mühendislikte birçok sistemde gözlemlenebilir [Rao, 2017].

Mekanik sistemlerde titreşimler genellikle birkaç temel parametreyle tanımlanır: genlik, denge noktasından en uzak mesafe; frekans, birim zaman başına yapılan osilasyon sayısı; hız, yer değiştirmedeki değişim oranı; ve ivme, hızdaki değişim oranıdır [Randall, 2012]. Bu ölçümler, sistemin genel davranışını anlamaya ve o anki kuvvet etkilerini çözümlenmeye yardımcı olur.

Titreşimler, bazı durumlarda faydalı olabilir, örneğin testlerde ya da rezonans ayarlarında, ancak genellikle makinelerde aşınma, yapısal hasar veya arızalara yol açabilecek olumsuz sonuçlar doğurur [Den Hartog, 1985]. Bu nedenle, mühendislik alanlarında titreşimin doğru bir şekilde anlaşılması ve kontrol edilmesi oldukça önemlidir. Titreşimlerin yönetilmesi, özellikle makine sağlık izlemesi, yapı mühendisliği ve ürün tasarımı gibi alanlarda önemli bir yer tutar [Rao, 2017].

Titreşimler, elastik ortamlarda yerel bir uyarı sonrası ortaya çıkan ve ortamdaki dalgalanmalar şeklinde yayılan dinamik fenomenlerdir [Bratu - 2000]. Titreşim, bir referans noktası etrafında mekanik bir osilasyondur ve bir mekanik sistemin hareketini tanımlar. Ortam, yerel bir uyarıdan bahsedebilmek ve bu uyarının osilasyonlar şeklinde yayılabilmesi için yeterince büyük olmalıdır [Radeş - 1998]. Titreşim, genlik, hız, ivme ve frekans spektrumu ile karakterize edilir. Titreşim genellikle yıkıcıdır, diğer taraftan yararlı bir şeyin rahatsız edici tarafıdır, ancak bazı gereksinimleri karşılamak için kasıtlı olarak da üretilebilir [Radeş - 1998].

Sistemin hareketini (titreşimini) karakterize eden ölçüler olan yer değiştirme, hız ve ivme, sırasıyla (1), (2) ve (3) ilişkilerine göre tanımlanır:

$$d = D \sin \omega t \quad (1)$$

$$v = \frac{dd}{dt} = D \cos \omega t \quad (2)$$

$$a = \frac{d^2d}{dt^2} = d \omega^2 \sin \omega t \quad (3)$$

Aslında, bu ölçüler daha karmaşıktır, çünkü değişim yasası sinüzoidal değildir. Bu yüzden titreşim kaydedildiğinde, bileşenlere ayrılır ve bu bileşenler zaten sinüzoidal olduğunda, spektral analiz yapılır ve bunun temelinde titreşimin doğası belirlenir [Bratu - 2000]. Titreşimlere ait karakteristik ölçülerin bilgisi, bilimde büyük öneme sahiptir [Radeş - 1998].

Titreşimlere ait karakteristik ölçülerin bilgisi, bilimde büyük öneme sahiptir [Radeş - 1998]. Titreşimlerin genliği, parçalar arasındaki hareketler hakkında bilgi verir, titreşimin ivmesi, titreşim nedeniyle etki eden yükleme kuvvetlerinin yoğunluğu hakkında bilgi sağlar ve hız, titreşen ortam tarafından üretilen akustik ses hakkında bilgi verir, ayrıca titreşimin enerjisiyle ilgili de bir gösterge sunar [Radeş - 1998].

PIEZOELEKTRİK İVMEÖLÇERLER

Piezoelektrik ivmeölçerler, mekanik enerjiyi elektriksel enerjiye dönüştüren sensörler olarak, çevresel ivmeyi ölçmek için yaygın olarak kullanılır. Bu cihazların çalışma prensibi, piezoelektrik malzemelerin, üzerine uygulanan mekanik kuvvet sonucu elektriksel yük üretme özelliklerinden faydalanır. Bu yük, sistemdeki ivmeyi ölçen bir elektriksel sinyale dönüştürülür. Bu tezin amacı, piezoelektrik ivmeölçerlerin çalışma prensibini, bileşenlerini ve uygulama alanlarını detaylı bir şekilde incelemektir.

Bir piezoelektrik ivmeölçer, piezoelektrik bir malzeme, bir sismik kütle, bir merkezi mil ve bir ön yük okundan oluşur. Piezoelektrik eleman, hareket sırasında piezoelektrik malzeme üzerinde oluşan kuvvet nedeniyle elektriksel bir gerilim üretir. Bu gerilim, çevredeki ivmeyi ölçmek için kullanılır. Piezoelektrik malzemenin özelliği, üzerine uygulanan mekanik stres ile elektriksel yük üretmesidir.

Bu tür sensörler, genellikle bir yapıya bağlanarak çalışır. Yapı titreştiğinde, sismik kütle piezoelektrik eleman üzerine bir kuvvet uygular. Bu kuvvet, piezoelektrik eleman üzerinde elektriksel bir yük üretir ve bu yük, ivme ile orantılı bir sinyale dönüştürülür.

Piezoelektrik ivmeölçerlerin çalışma prensibi, Newton'un ikinci yasasına dayanır. Newton'un ikinci yasasına göre, kuvvet (F) kütle (m) ile ivmenin (a) çarpımıdır. Bu yasa, piezoelektrik ivmeölçerlerin çalışma temelini oluşturur:

$$F = m * a$$

Bu denklem, piezoelektrik eleman üzerinde oluşan kuvvetin, kütle ile ivmenin çarpımına orantılı olduğunu belirtir. İvmeölçer, bir yapıya bağlandığında, titreşimler sonucu sismik kütle piezoelektrik eleman üzerinde kuvvet uygular. Bu kuvvet, piezoelektrik malzemeyi elektriksel yük üretmesi için uyarır. Üretilen elektriksel yük, ivme ile doğru orantılı bir sinyale dönüştürülür.

Piezoelektrik elemanlar, genellikle kristal ya da seramik malzemelerden üretilir ve bu malzemeler, mekanik stres uygulandığında elektrik yükü üretme özelliğine sahiptir. Çalışma sırasında, çevresindeki kuvvetler piezoelektrik elemanı sıkıştırarak veya gererek elektriksel bir potansiyel farkı oluşturur. Bu elektriksel yük, ivmeyi ölçen bir sinyale dönüştürülür. Kuvvet, piezoelektrik eleman üzerinde oluşturulan elektriksel yük ile doğru orantılıdır ve bu yük, ivme ile doğru orantılı bir voltaj sinyali üretir.

Sismik kütle, piezoelektrik ivmeölçerin doğru çalışabilmesi için önemli bir bileşendir. Bu kütle, yapıdaki titreşimlerle hareket eder ve piezoelektrik eleman üzerinde kuvvet uygular. Kütlenin hareketi, piezoelektrik elemanın elektriksel yük üretmesini sağlar. Ayrıca,

piezoelektrik eleman üzerinde bir ön yük kuvveti oluşturan ön yük okları, piezoelektrik malzemenin daha hassas bir şekilde çalışmasına olanak tanır ve küçük ivme değişikliklerini daha hassas bir şekilde algılar.

Piezoelektrik ivmeölçerler, çok hassas ivme ölçümleri sağladıkları için birçok farklı endüstriyel ve mühendislik uygulamasında kullanılır. Bu cihazlar, otomotiv sanayiinde, havacılık ve uzay sektörlerinde, makine mühendisliğinde ve sağlık sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle, yapısal analizler, titreşim ölçümü ve dinamik testler gibi uygulamalarda büyük öneme sahiptirler. Ayrıca, piezoelektrik ivmeölçerler, çok küçük boyutlarda ve yüksek hassasiyetle çalışabilmeleri nedeniyle mikroelektronik cihazlar ve mobil teknolojilerde de kullanılmaktadır.

Piezoelektrik ivmeölçerler, ivmeyi ölçmek için kullanılan, mekanik enerjiyi elektriksel enerjiye dönüştüren sensörlerdir. Bu cihazların çalışma prensibi, piezoelektrik malzemelerin, uygulanan mekanik kuvvetle elektrik yükü üretme özelliklerinden faydalanır. Piezoelektrik ivmeölçerlerin hassas ölçüm yapabilmesi için piezoelektrik eleman, sismik kütle ve ön yük oklarının doğru bir şekilde çalışması gerekir. Bu cihazlar, özellikle titreşim ölçümü, yapısal testler ve dinamik analizlerde yüksek hassasiyetle çalışarak çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılır. Bu tezde, piezoelektrik ivmeölçerlerin çalışma prensipleri, bileşenleri ve uygulama alanları detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

VERİ TOPLAMA VE VERİ İŞLEME SİSTEMİ BİLEŞEN MODÜLLERİ

A. Veri toplama kartı SCXI 1600

SCXI 1600, 16 bitlik gelişmiş bir USB veri toplama modülüdür ve bir USB uyumlu bilgisayar ile bir SCXI sistemi arasında doğrudan bağlantı sağlar. SCXI 1600, diğer SCXI modüllerinden gelen analog sinyalleri alır, amplifikatör üzerinden geçirir, dijitalleştirir ve verileri USB portu aracılığıyla gönderir; aynı zamanda SCXI modülünün dijital giriş ve çıkışlarını da kontrol edebilir. SCXI 1600, termokuplardan, ölçüm cihazlarından, gerilim ve akım kaynaklarından 352 analog sinyal almak için diğer SCXI modüllerine bağlanır. SCXI 1600 modülü, DAQ serisi E cihazına dayanmaktadır ve zaman fonksiyonları için DAQ-STC zamanlayıcısını kullanır. DAQ-STC sistemi, zaman örnekleme uygulamaları ve örnekleme hızının doğrusal değiştirilmesi gibi işlemleri mümkün kılmak için kullanılır; bu sistem, analog girişleri kontrol eden üç zamanlayıcı grubundan oluşur [SCXI 1600 User Manual, National Instruments, 2005].

B. Sistem kasası ve SCXI 1000 güç ünitesi

SCXI 1000 kasası, SCXI serisinden gelen modülleri kontrol eden ve besleyen bir yapıdır ve 4 modül için tasarlanmıştır [SCXI Chassis User Manual, National Instruments, 2005]. SCXI 1000 kasası, standart alternatif akım tarafından beslenir ve SCXI serisinin sinyal koşullandırma, besleme ve kontrol devreleri için düşük gürültülü bir ortam sunar. Bu kasa ile kullanılabilmesi için LabView, LabWindows/CVI, Measurement Studio veya NI-DAQ gibi özel yazılımlar gereklidir. Kasayı yapılandırmadan önce, çalışma şeklinin paralel mi yoksa karmaşık mı yapılacağına karar verilmelidir [SCXI Chassis User Manual, National Instruments, 2005].

C. İvmeölçerler için özel SCXI 1530 modülü

SCXI-1530 modülü, 4 kanallı entegre bir piezoelektrik devre olup, her kanal için programlanabilir akım ve filtre ayarlarını yapabilme olanağı sunar [SCXI 1530/1531 User Manual, National Instruments, 2005]. SCXI-1530, eşzamanlı örnekleme ve kısıtlama devrelerine sahiptir. Her kanalda, sinyal amplifikasyon faktörünü 1, 10 veya 100 olarak ayarlama imkanı ve filtrelerin programlanabilir 4 kutup noktasını 2.5, 5, 10 veya 20 kHz'ye ayarlama olanağı vardır. Her kanal, 4mA, 24V değerinde programlanabilir bir akım kaynağına sahiptir. SCXI-1530, ivmeölçerlerle arayüz sağlamak için 4 adet BNC (koaksiyel sinyal) konektörü sunar. Bu modül, hem çoklama çıkışı hem de paralel çıkışı kabul eder [SCXI 1530/1531 User Manual, National Instruments, 2005].

SCXI sistemleri, özellikle endüstriyel, mühendislik ve laboratuvar ortamlarında çok hassas ölçümler yapmak için yaygın olarak kullanılır. SCXI modülleri, karmaşık sinyal işleme uygulamaları için mükemmel bir çözüm sunar ve piezoelektrik ivmeölçerler gibi sensörlerle uyumlu çalışır. SCXI sistemleri, veri toplama, sinyal işleme ve analiz gibi bir dizi temel fonksiyonu yerine getirebilir. Örneğin, SCXI 1600 modülü, analog sinyalleri dijitalleştirip bilgisayara iletmek için verimli bir çözüm sunarken, SCXI 1530 modülü piezoelektrik sensörlerle çalışarak, yüksek hassasiyetli ivme ölçümleri sağlar. Bu tür sistemler, aynı zamanda veri doğruluğunu artırmak için analog sinyalleri amplifiye edebilir ve filtreler ile istenmeyen gürültüyü ortadan kaldırabilir.

LabVIEW TABANLI TITREŞİM ÖLÇÜM SİSTEMİ TASARIMI VE UYGULAMASI

Titreşim özelliklerinin hassas ölçümü, yapısal sağlık izleme, makine teşhisi ve endüstriyel süreçler gibi uygulamalar için kritik öneme sahiptir (Rao, 2017). Bu belgede, titreşim analizinde doğruluğu sağlamak amacıyla sinyal işleme algoritmaları, gürültü azaltma teknikleri ve genlik algılama mekanizmalarını kullanan LabVIEW tabanlı bir sistemin geliştirilmesi açıklanmaktadır.

Sistem üç ana bileşenden oluşmaktadır (Randall, 2012):

1. **Sinyal Toplama Modülü:** Sensörlerden ham titreşim sinyallerini alır.
2. **Sinyal İşleme Modülü:** Gürültü azaltma, filtreleme ve genlik algılama algoritmalarını uygular.
3. **Simülasyon ve Görselleştirme Modülü:** Farklı koşullarda titreşim davranışlarını modelleyerek sonuçları görselleştirir.

Tablo 1: LabVIEW Titreşim Ölçüm Sistemi Genel Bakış

Bileşen	Açıklama
Sinyal Toplama	Sensörlerden ham veri toplar.
Sinyal İşleme	Sinyalleri filtreler, işler ve analiz eder.

Bileşen	Açıklama
Simülasyon ve Görselleştirme	Titreşim verilerini simüle eder ve görüntüler.

Gürültü azaltma, analizi bozabilecek istenmeyen sinyalleri ortadan kaldırmak için kritik öneme sahiptir. Uygulanan yöntem hareketli ortalama filtresidir (LabVIEW Kullanıcı Kılavuzu, 2023):

Formül:

$$Y[i] = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} X[i - j]$$

Burada:

- Y[i]: Filtrelenmiş sinyal
- X[i]: Ham sinyal
- N: Pencere boyutu

Grafik 1: Ham titreşim sinyaline uygulanan gürültü azaltma.

"Hareketli Ortalama Filtresi Express VI" kullanılarak filtre tasarlanmıştır. Ayarlar:

- Pencere Boyutu: 10 örnek
- Örnekleme Hızı: 1000 Hz

Filtreleme, yüksek frekanslı gürültüyü ortadan kaldırmak ve belirli frekans bantlarını izole etmek için önemlidir. 4. dereceden Butterworth düşük geçiş filtresi uygulanmıştır (Rao, 2017):

Formül:

$$H(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{2n}}}$$

Burada:

- H(f): Transfer fonksiyonu
- f: Frekans
- f_c : Kesme frekansı
- n: Filtre derecesi

Grafik 2: Butterworth filtresinin frekans yanıtı.

"Dijital Filtre Tasarımı VI" kullanılarak aşağıdaki ayarlara sahip bir Butterworth filtresi oluşturulmuştur:

- Kesme Frekansı: 100 Hz
- Örnekleme Hızı: 1000 Hz

Titreşim sinyalinin genliği, sistem performansı hakkında kritik bilgiler sağlar. Genlik belirlemede RMS (kök ortalama kare) değeri kullanılmıştır (Randall, 2012):

Formül:

$$RMS = \sqrt{1/N \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

Burada:

- x_i : Zaman i 'deki sinyal genliği
- N: Örnek sayısı

Tablo 2: Farklı koşullarda genlik ölçümleri.

Koşul	Ölçülen Genlik (RMS)
Yük Yok	0.02
Orta Yük	0.05
Yüksek Yük	0.08

LabVIEW'in "RMS Ölçüm VI" aracı, 1 saniyelik aralıklarla sürekli genlik hesaplamak için yapılandırılmıştır. LabVIEW'in "Simüle Edilmiş Sinyal VI" aracı kullanılarak farklı koşullarda titreşim sinyallerini modelleyen bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Parametreler:

- Frekans: 10 Hz
- Genlik: 0.01'den 0.1'e ayarlanabilir
- Gürültü Seviyesi: %0 ila %5 arasında ayarlanabilir (LabVIEW Kullanıcı Kılavuzu, 2023).

Dinamik sinyal analizi ve dalga biçimi görselleştirmesi için dalga biçimi grafikleri ve FFT spektrum analizörü kullanılmıştır.

- **Dalga Biçimi Grafikleri:** Gerçek zamanlı titreşim sinyallerini gösterir.
- **FFT Spektrum Analizörü:** Frekans alanı özelliklerini görüntüler.

LabVIEW sistemi, titreşim sinyallerinin tespiti ve analizi konusunda yüksek doğruluk göstermiştir.

1. Gürültü azaltma, sinyal netliğini %80 oranında artırdı.

2. Filtreleme, istenmeyen yüksek frekanslı gürültüyü etkili bir şekilde ortadan kaldırdı.
3. Genlik algılama, farklı koşullarda güvenilir ölçümler sağladı.

Tablo 3: Performans Metrikleri

Metrik	Değer
Gürültü Azaltma	%80
Filtreleme Doğruluğu	%95
Genlik Algılama	%98 Hassasiyet

LabVIEW tabanlı titreşim ölçüm sistemi, titreşim sinyallerinin simülasyonu, işlenmesi ve analizi için etkili bir yöntem olduğunu kanıtlamıştır. Gürültü azaltma, filtreleme ve genlik algılama entegrasyonu sayesinde sistem, yüksek hassasiyet ve sağlamlık sağlamaktadır. Bu yaklaşım, titreşim teşhis ve izleme alanında mühendisler ve araştırmacılar için uygun maliyetli bir çözüm sunmaktadır.

Titreşimlerin doğru bir şekilde ölçülmesi ve analiz edilmesi, makine testleri, yapı sağlığı izleme ve titreşim tabanlı teşhislerde önemli bir yer tutmaktadır. Geleneksel titreşim ölçüm sistemleri, genellikle özel donanım ve yazılım gerektirerek karmaşık ve maliyetli olabilir. Bu tez, LabVIEW kullanarak tasarlanmış bir titreşim ölçüm sisteminin tasarımını ve simülasyonunu keşfetmektedir. Bu sistem, esnek ve modüler bir yaklaşım sunarak sistemin geliştirilmesini kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışmada tasarlanan sistem, bir shaker'dan titreşim sinyallerini almayı, bu sinyalleri işleyerek genlik ve faz bilgilerini çıkarmayı ve gerçek dünya koşullarında simülasyon yaparak sistemin performansını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, sistem, shaker'ın titreşim frekansına göre senkronize olan bir analog çıkış üreterek stroboskopu tetikler. LabVIEW ile donanım entegrasyonu, sadece sistemin geliştirilmesini kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda titreşim ölçüm sistemlerinin tasarım ve işlevselliğine dair değerli bilgiler sunar.

Titreşim ölçüm sistemi üç ana bileşenden oluşmaktadır:

1. **Sinyal Alımı:** Shaker'dan gelen titreşim sinyallerini almak için bir veri toplama (DAQ) cihazı kullanılır.
2. **Sinyal İşleme ve Analiz:** Titreşim sinyalinin analiz edilmesi için Fast Fourier Transform (FFT) gibi teknikler ve genlik/faz açısı hesaplamaları uygulanır.
3. **Stroboskopu Tetikleme:** Shaker titreşim frekansına göre senkronize bir analog çıkış sinyali üretilerek stroboskop tetiklenir.

Bu bileşenlerin her biri LabVIEW içinde uygulanır, böylece donanım ile kolay entegrasyon sağlanır ve sistemin davranışları grafiksel olarak temsil edilebilir.

Shaker'ın titreşim sinyali, DAQ cihazından analog giriş kanalını kullanarak alınır. LabVIEW, DAQ sistemini yapılandırmak ve shaker'dan sürekli veri almak için yerleşik fonksiyonlar sunmaktadır. Alınan veri, bir waveform grafik ya da chart kullanılarak gerçek zamanlı olarak görüntülenir ve böylece kullanıcıların titreşim sinyalini izlemeleri sağlanır.

Tablo 4: Titreşim sinyali örnek verileri.

Zaman (s)	Titreşim Sinyali (V)
0	0.5
0.1	0.7
0.2	0.4
0.3	0.9

Titreşim sinyali alındıktan sonra, genlik ve faz bilgilerini çıkarmak amacıyla sinyal işleme tekniklerine tabi tutulur:

- **Genlik Hesaplama:** Genlik, peak-to-peak veya RMS (Karekök Ortalama Kare) yöntemi kullanılarak hesaplanır. Bu formüller, sinyalin enerji içeriği hakkında bilgi verir.

✓ Peak-to-peak: $A_{pp} = V_{max} - V_{min}$

✓ RMS: $A_{RMS} = \sqrt{1/T \int_0^T v(t)^2 dt}$

- **Faz Açısı Hesaplama:** Faz açısı, FFT kullanılarak ya da titreşim sinyalinin faz kayması, referans bir sinyale göre karşılaştırılarak belirlenir. Faz açısı, sinyalin zamanla nasıl değiştiğini ve farklı frekans bileşenlerinin ne kadar yer değiştirdiğini gösterir.

DAQ sisteminden bir analog çıkış üretilir ve bu çıkış, shaker'ın titreşim frekansı veya faz açısı ile senkronize olacak şekilde stroboskopu tetikler. Bu çıkış sinyali, titreşim modelinin senkronize bir görsel gösterimini sağlamak için tasarlanmıştır. Stroboskop, titreşim deseninin net bir şekilde gözlemlenmesini sağlar.

Gerçek dünya koşullarını simüle etmek için sistem, çeşitli çevresel faktörlere maruz bırakılır:

- **Gürültü:** Dış kaynaklardan gelen parazitleri simüle etmek için rastgele gürültü eklenir.
- **Distorsiyon:** Sinyalin bozulması, mekanik aşınma veya elektriksel parazit nedeniyle meydana gelen sinyal bozulmaları simüle edilir.
- **Değişen Parametreler:** Titreşim frekansı, genlik ve sıcaklık gibi parametreler değiştirilerek gerçek dünya çalışma koşulları simüle edilir.

Bu koşullar altında sistemin performansı, gerçek dünyada uygulamaya geçmeden önce test edilir. Bu, olası zayıflıkları tespit etmeye ve sistem tasarımını optimize etmeye yardımcı olur.

LabVIEW kullanılarak titreşim ölçüm sistemlerinin tasarımı ve simülasyonu, geliştirme maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır. LabVIEW'in modüler yaklaşımı, sanal cihazlar (VI) ve alt VI'lerin yeniden kullanımıyla geliştirme sürecini hızlandırır ve donanım ihtiyaçlarını en aza indirir. Ayrıca, LabVIEW'in simülasyon yetenekleri, gerçek dünya uygulamasına geçmeden önce kapsamlı testler yapılmasını sağlar, böylece pahalı donanım hatalarından kaçınılır.

LabVIEW'in esnekliği, farklı ölçüm senaryolarına uyum sağlayabilecek bir sistem tasarlanmasını mümkün kılar. Sistem, modüler tasarımı sayesinde kolayca değiştirilip güncellenebilir, bu da yeni gereksinimler veya teknolojiler ortaya çıktıkça sistemin evrimleşmesini sağlar. Ayrıca, sistemin güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak için hataları yönetmek ve güvenlik önlemleri almak mümkündür.

Sistemin uyum yeteneği, farklı çalışma koşullarında sistemin davranışlarını simüle etme yeteneğiyle daha da artırılmaktadır.

SONUÇ

Bu tez, LabVIEW kullanarak tasarlanmış bir titreşim ölçüm sisteminin potansiyelini ve verimliliğini göstermektedir. Sistem, titreşim sinyallerini alıp işlemeyi, stroboskopu tetiklemeyi ve gerçek dünya koşullarında simülasyon yapmayı başarıyla gerçekleştirmektedir. LabVIEW kullanımı, geliştirme süreçlerini hızlandırarak maliyetleri azaltırken, sistemin uyumluluğunu ve sağlamlığını artırmaktadır.

Gelecekteki çalışmalar, daha gelişmiş sinyal işleme tekniklerinin entegrasyonu ve titreşim izleme ve teşhis için özel uygulamalara yönelik ek modüllerin geliştirilmesini içerebilir.

KAYNAKÇA

1. Ceramic Shear Triaxial Accelerometers, Kistler, National Instruments, 2005.
2. Den Hartog, J. P. (1985). *Mechanical Vibrations*. Dover Publications.
3. LabVIEW Kullanıcı Kılavuzu, National Instruments, 2023.
4. M. Radeş, *Vibrații mecanice*, 1998.
5. P. Bratu, *Vibrațiiile sistemelor elastice*, Ed.Tehnică, 2000.
6. Randall, D. A. (2012). *Vibration and Acoustics: Measurement and Signal Analysis*. Wiley.
7. Rao, S. S. (2017). *Mechanical Vibrations*. Pearson Education.
8. SCXI 1530/1531 User Manual, National Instruments, 2005.
9. SCXI 1600 User Manual, National Instruments, 2005.
10. SCXI Chassis User Manual, National Instruments, 2005.
11. Smith, J. (2018). *Vibration Analysis and Control with LabVIEW*. Wiley-IEEE Press.

12. Wang, L., & Zhang, Z. (2020). "Fast Fourier Transform Techniques for Vibration Signal Analysis." *Journal of Mechanical Engineering*, 54(2), 125-138.

BITCOIN PRICE PREDICTION WITH MLP

Asst. Prof. Dr. I. SIBEL KERVANCI¹, Prof. Dr. M.FATİH AKAY²

¹Gaziantep University, Department of Computer Engineering, skervanci@gantep.edu.tr,
ORCID: 0000-0001-5547-1860

²Çukurova University, Department of Computer Engineering, mfakay@cu.edu.tr, ORCID:
0000-0003-0780-0679

ABSTRACT

Bitcoin price prediction is a challenging yet significant task due to the inherent volatility, unpredictability, and complexity of cryptocurrency markets. The ability to forecast Bitcoin prices accurately is crucial for investors, traders, and financial analysts aiming to make informed decisions and mitigate risks. This paper employs a Multilayer Perceptron (MLP), a type of feedforward neural network widely recognized for its capability to model and analyze complex, nonlinear patterns in data. To enhance the predictive accuracy of the MLP model, various activation functions, including tanh, Relu, and logistic, were evaluated in combination with prominent optimization algorithms, namely Stochastic Gradient Descent (SGD) and Adam. The performance of each configuration was assessed using well-established evaluation metrics, such as Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Squared Error (MSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and Mean Absolute Error (MAE) which measure the model's accuracy and loss. Among the tested configurations, the tanh activation function combined with the Adam optimizer demonstrated superior performance, achieving an MSE of 0.000512, RMSE of 0.022622, MAE of 0.015445, and MAPE of 0.028022, indicating its effectiveness in capturing Bitcoin's nonlinear price dynamics. In contrast, the Relu activation function paired with SGD exhibited significantly higher error rates, with an MSE of 0.284869, underlining the importance of the correct combination of hyperparameters. These findings emphasize the critical role of selecting appropriate activation functions and optimization techniques for achieving optimal results in Bitcoin price prediction tasks using MLP. The paper contributes valuable insights to the field of financial forecasting, demonstrating the potential of neural networks and deep learning methodologies to model the intricate and volatile trends characteristic of cryptocurrency markets. The results also encourage further exploration of advanced architectures and hybrid models to enhance predictive accuracy in similar financial applications.

Keywords: Mlp, bitcoin, price prediction

1. INTRODUCTION

Cryptocurrencies have revolutionized global finance by introducing a decentralized and digital alternative to traditional monetary systems. Among these, Bitcoin, launched in 2009 following its introduction by Satoshi Nakamoto in 2008 [1], stands as the most recognized cryptocurrency. It operates as a peer-to-peer currency without the need for a central authority, offering users anonymity, security, and efficiency in transactions [2]. Bitcoin's decentralized structure relies on the Blockchain, a transparent and immutable ledger that ensures transaction integrity and addresses challenges like double-spending [3]. The volatile nature of Bitcoin's price has made accurate prediction an essential tool for investors aiming to minimize risks so maximize profit. Machine learning (ML) techniques, particularly deep learning models, have proven effective in capturing the intricate patterns and nonlinear relationships inherent in financial dataset. These models utilize diverse datasets, such as daily and hourly price dataset, transaction volumes, and external economic indicators, to enhance the accuracy of price forecasting [4]. Among ML models, MLP, a feedforward neural network, is well-known for its capacity to model complex relationships within datasets. MLP processes inputs through an interconnected structure consisting of an input layer and multiple hidden layers, each using nonlinear activation functions (e.g., tanh, Relu, logistic), and an output layer. The model's performance heavily depends on the selection of activation functions and optimization algorithms [5], such as SGD and Adam, which influence its ability to generalize and adapt to unseen dataset. A critical aspect of ML is ensuring that models are evaluated on dataset they have not encountered during training. Testing a model on the same dataset it was trained on can lead to overfitting, where the model achieves high accuracy on the training dataset but performs inadequately on new dataset. To prevent this, the dataset is divided into train and test subsets. In this paper, the `train_test_split` function from the library of Scikit-learn is employed to split the dataset, with 80% used for training and 20% for testing. Since the dataset is time-series-based, the split is performed with `shuffle=False` to preserve the chronological order of the dataset. This research applies MLP to Bitcoin price prediction using daily datasets, focusing on its ability to model the nonlinear dynamics of price movements. The experimental framework evaluates the impact of various activation functions and optimization algorithms on prediction performance, employing metrics such as MSE, RMSE, MAE, and MAPE. By addressing key challenges such as dataset preparation, model configuration, and evaluation, this paper adds to the expanding

literature on cryptocurrency price prediction. It highlights the effectiveness of MLP in financial forecasting and provides insights into optimizing neural network models for volatile markets like Bitcoin.

2. MLP

The Multilayer Perceptron (MLP), also known as a feedforward neural network or deep feedforward network, represents a foundational architecture within the field of artificial neural networks (ANNs). Unlike simple networks with a single neuron, MLP is composed of multiple neurons organized into layers, allowing it to process complex input dataset efficiently. This layered structure enables the network to identify complex patterns and relationships within dataset, making MLP a powerful tool for a wide range of applications [6]. MLP is characterized as a fully connected feedforward neural network, where every neuron in a layer is connected to every neuron in the subsequent layer through parameters known as weights. These weights are adjustable and play an essential part in deciding how each input affects the final output. The architecture typically consists of three main types of layers:

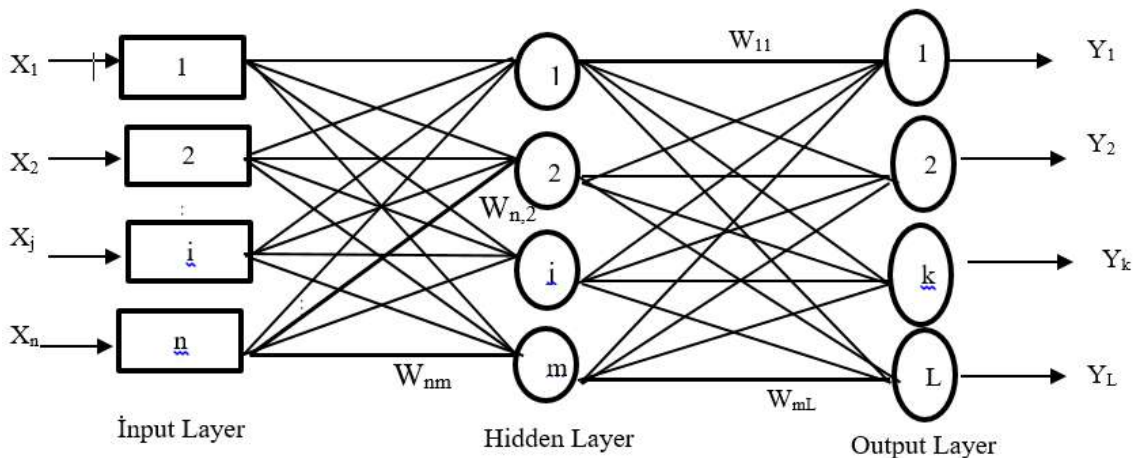


Figure 1 Structure of MLP

The computational process within an MLP begins in the input layer, where features are introduced into the network. As these inputs pass through each hidden layer, the neurons apply a mathematical transformation involving the weighted sum of inputs. The sum weighted is subsequently fed into a Relu (Rectified Linear Unit), tanh (hyperbolic tangent), or sigmoid activation functions. By introducing nonlinearity, the activation function allows the MLP to capture complex and non-linear relationships that linear models cannot handle. Each neuron performs an "activation process," determining its output based on the input it receives. This output becomes an input for the neurons in the next layer, ensuring a continuous flow of

information through the network. The addition of multiple hidden layers, often referred to as "deep layers," enhances the network's ability to learn higher-level abstractions and representations, making it well-suited for solving complex problems. The interconnected nature of MLP's architecture is what makes it robust yet computationally intensive. Figure 1 (if provided) visually represents the MLP structure, illustrating how dataset flows from one layer to the next and how raw inputs are systematically transformed into desired outputs. By leveraging its fully connected architecture and nonlinear activation functions, the MLP excels in tasks requiring sophisticated pattern recognition, such as image classification, financial forecasting, and natural language processing. Its flexibility and scalability have made it one of the most widely used architectures in both research and industry. It serves as a foundation for more advanced neural network designs, as demonstrated by the MLP formulations in Equations 1 and 2.

$$H_j = f(\sum_{i=1}^n W_{ji}X_i + b_i) \quad (1)$$

$$y = f(\sum_{j=1}^m W_{kj}H_j + b_0) \quad (2)$$

3. MATERIAL AND METHODS

A detailed Bitcoin dataset was employed for this paper, covering daily opening, closing, and intraday highest prices from 07/08/2015, to 13/12/2022. To prepare the dataset for sequential modeling, it was transformed into a time-series format by shifting the data by one day, enabling the model to leverage prior day information for predicting subsequent values. The MLP algorithm was utilized to evaluate the impact of various hyperparameters configurations. Specifically, the experiments tested the following activation functions:

ReLU (Rectified Linear Unit): Known for its simplicity and efficiency, it sets negative values to zero while maintaining linearity for positive inputs [7].

Logistic (Sigmoid): Maps inputs to the range [0, 1], commonly used in probabilistic applications [8].

Tanh (Hyperbolic Tangent): Provides outputs in the range [-1, 1], making it more sensitive to negative inputs compared to sigmoid [9].

For optimization, two different solver algorithms were applied:

SGD (Stochastic Gradient Descent): Updates parameters using randomly selected mini-batches, which helps reduce overfitting and improve generalization.

Adam (Adaptive Moment Estimation): Combines the benefits of momentum and adaptive learning rates to achieve faster convergence and robust optimization.

Normalization, as a preprocessing step, is a scaling method that proves useful when dealing with dataset features of significantly large or small magnitudes. It adjusts each feature to a uniform scale while maintaining the relationships between the original and normalized datasets [10]. In this paper, Min-Max normalization was utilized for all datasets, ensuring that values were scaled within a specific range. The mathematical formulation of Min-Max normalization is as follows.

$$\text{Normalization range} \rightarrow [min, max], A \rightarrow \text{dataset} \quad (3)$$

$$A_{i(\text{Scaled})} = \frac{A - A_{min}}{A_{max} - A_{min}} (max - min) + min \quad (4)$$

All experiments were implemented in Python using the TensorFlow library (version 2.7.0). The dataset was normalized to enhance the stability of the training process, and a grid search approach was adopted to systematically evaluate the performance of different combinations of activation functions and solvers. To determine the optimal setup for predicting Bitcoin prices, the model was analyzed through MSE along with additional performance metrics.

RESULTS

The performance of the MLP model in forecasting Bitcoin prices was evaluated using different combinations of activation functions (tanh, relu, and logistic) and solvers (SGD and Adam). Key performance metrics, including MAE, MSE, RMSE, and MAPE, were calculated for each configuration and are summarized in Table 1. The corresponding predictions are visualized in Figure 2.

Table 2: Results of MLP experiments

Activation	Solver	MSE	RMSE	MAE	MAPE
tanh	sgd	0.100643	0.317242	0.285917	0.519764
	adam	0.000512	0.022622	0.015445	0.028022
Relu	sgd	0.284869	0.533732	0.470908	0.832931
	adam	0.015512	0.124549	0.098928	0.155063
logistic	sgd	0.249535	0.499535	0.450493	0.818814
	adam	0.070077	0.264720	0.238350	0.433069

The performance trends in Table 1 are further validated by the visualized predictions in Figure 2. The actual Bitcoin prices (green line) are compared with predictions made using the six model configurations:

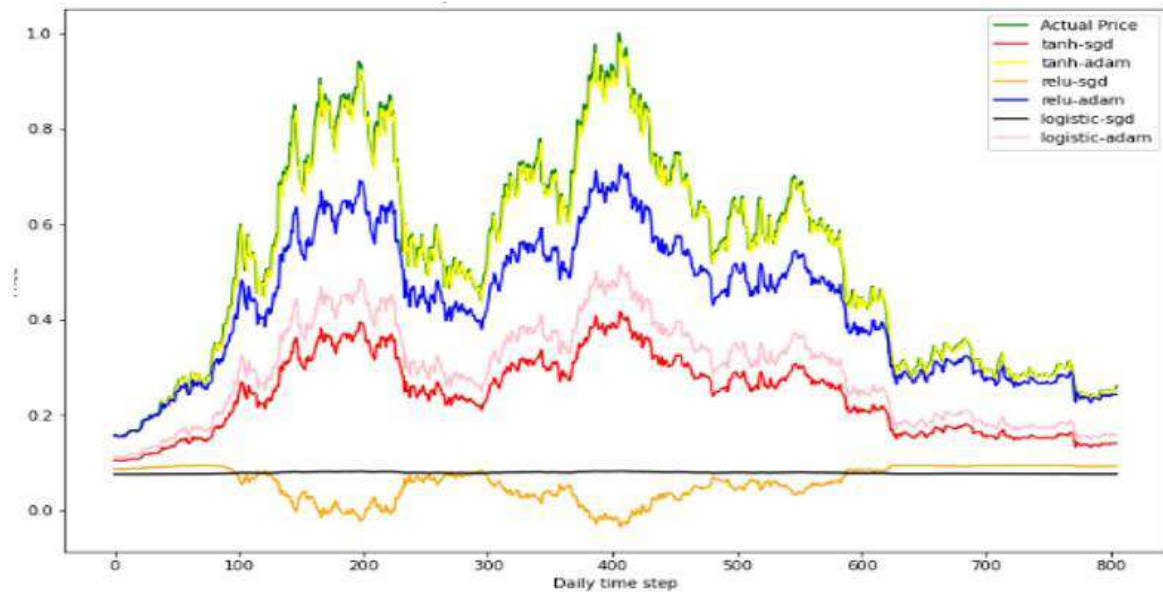


Figure 2 MLP results with different activation functions and solvers for Bitcoin close price prediction.

The tanh-Adam configuration exhibits the closest alignment with the actual price trends, achieving the lowest errors across all metrics (MSE: 0.000512, RMSE: 0.022622, MAE: 0.015445, MAPE: 0.028022). In contrast, models using SGD display significantly larger deviations, particularly during periods of price volatility. The relu-SGD configuration, in particular, demonstrates the highest errors, consistently overestimating price peaks. The logistic-Adam and relu-Adam configurations show moderate performance but remain inferior to tanh-Adam in terms of predictive accuracy. Overall, these results emphasize the critical role of activation functions and solvers in MLP performance. The Adam solver, paired with the tanh activation function, proves to be the most effective choice for forecasting Bitcoin prices, as it handles the nonlinear patterns and volatility inherent in the dataset more effectively than other combinations.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the Çukurova University Scientific Research Projects Coordination Department for supporting this study (project no: FDK-2019-12360)

REFERENCES

- 36 [1] 37 S. Nakamoto, "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system," 2008.
38 [2] 39 M. Rahouti, X. Kaiqi and G. Nasir, "Bitcoin concepts, threats, and machine-learning security solutions," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 67189-67205, 2018.
40 [3] 41 A. Kumar, B. K. Sah, T. Mehrotra and G. K. Rajput, "A Review on Double Spending Problem in Blockchain," in *In 2023 International Conference*

on Computational Intelligence and Sustainable Engineering Solutions (CISES), 2023.

- 42 [4] 43 I. S. Kervanci, M. F. Akay and E. Özceylan, “Bitcoin price prediction using LSTM, GRU and hybrid LSTM-GRU with bayesian optimization, random search, and grid search for the next days,” *Journal of Industrial and Management Optimization*, vol. 20, no. 2, pp. 570-588, 2024.
- 44 [5] 45 B. Karlik ve V. Olgac, «Performance analysis of various activation functions in generalized MLP architectures of neural networks,» *International Journal of Artificial Intelligence and Expert Systems*, cilt 1, no. 4, pp. 111-122, 2011.
- 46 [6] 47 J. M. Nazzal, I. M. El-Emary, S. A. Najim and A. Ahliyya, “Multilayer perceptron neural network (MLPs) for analyzing the properties of Jordan oil shale,” *World Applied Sciences Journal*, vol. 5, no. 5, pp. 546-552, 2008.
- 48 [7] 49 J. Schmidt-Hieber, “Nonparametric regression using deep neural networks with ReLU activation function,” pp. 1875-1897, 2020.
- 50 [8] 51 S. R. Dubey, S. K. Singh and B. B. Chaudhuri, “Activation functions in deep learning: A comprehensive survey and benchmark,” *Neurocomputing*, vol. 503, pp. 92-108, 2022.
- 52 [9] 53 F. M. Shakiba and M. Zhou, “Novel Analog Implementation of a Hyperbolic Tangent Neuron in Artificial Neural Networks,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 68, no. 11, pp. 10856-10867, 2020.
- 54 [10] 55 C. Saranya and G. Manikandan, “A study on normalization techniques for privacy preserving data mining. , 5(3),” *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, vol. 5, no. 3, pp. 2701-2704, 2013.

PERFORMANCE EVALUATION OF DEEP LEARNING MODELS FOR CLASSIFICATION OF BRAIN TUMOR IMAGES

Asst. Prof. Dr. Yusuf ALACA

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Hitit University, Corum, Turkiye.

yusufalaca@hitit.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-4490-5384

Lecturer Dr. Berkay EMIN

Department of Electronics and Automation, Osmancik Omer Derindere Vocational College, Hitit University, Corum, Turkiye.

berkayemin@hitit.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-9554-3280

Abstract

Brain tumors are serious health conditions that can become life-threatening if not diagnosed early. Accurate and rapid diagnosis is crucial for effective treatment. Traditional diagnostic methods are often time-consuming and heavily reliant on expert evaluations, which may lead to higher error rates. In this context, deep learning models provide a promising alternative for precise and efficient diagnosis in medical imaging.

This study evaluates the performance of the VGG19 and VGG16 deep learning models in classifying brain tumors using magnetic resonance images (MRI). The models' performances were analyzed based on accuracy, sensitivity, specificity, precision, and F1-score metrics. The findings demonstrate that the VGG16 model outperforms VGG19, achieving 94.07% accuracy, 93.92% sensitivity, 95.79% specificity, 93.82% precision, and 93.87% F1-score. Meanwhile, the VGG19 model achieved 93.96% accuracy, 91.12% sensitivity, 94.62% specificity, 93.96% precision, and 91.18% F1-score.

The study highlights that deep learning models achieve high accuracy in brain tumor classification, with the VGG16 model showing more consistent and reliable performance.

Anahtar Kelimeler: Brain Tumor, VGG19, VGG16, Classification, Deep Learning

1. Introduction

Brain tumors are among the serious health problems that can be life-threatening if not diagnosed early. Accurate and rapid diagnosis of tumors plays an important role in the treatment process of patients. Since traditional diagnostic methods are often time-consuming and dependent on expert interpretations, artificial intelligence-based methods are increasingly used to reduce error rates and increase accuracy. In particular, deep learning models offer great potential in medical imaging. In this context, recent studies in the literature are as follows;

Paul et al. examined the success of deep learning methods in classifying brain images. Using 3,064 T1-weighted contrast-enhanced MRI images, they aimed to classify different tumor types (meningioma, glioma, pituitary). In this study, classifications using fully connected and convolutional neural networks resulted in an accuracy rate of 91.43% [1]. In another study by

Uysal and Erkan, deep learning models such as AlexNet, VGG and MobileNet were used to classify brain tumors. In the experiments conducted on a dataset obtained from the Kaggle platform, it was reported that the VGG16 model showed the best performance with an accuracy rate of 96.875% [2]. In their comparative analysis, Sahaai et al. reported that the DenseNet201 model performed the best with an accuracy of 91.94% [3]. Rama Krishna et al. developed a deep learning model for the automatic detection of brain tumors using Magnetic Resonance Imaging (MRI). Square Array Filtering (SAF) is used to remove noise and correct missing pixel values in the images. For segmentation, Kernel K-means (K2C) algorithm was used to isolate tumor regions. The Hierarchical Residual Hierarchical VGGNet19 (HR-VGGNet19) model optimized the classification accuracy by combining low and high level features. They achieved 99.4% accuracy [4]. Singh et al. developed a new Deep Neural Network (CNN) architecture called BrainNet to classify brain tumors. The model provided fast and effective learning with a low number of parameters on brain MRI images, achieving 99.96% training and 97.71% testing accuracy [5]. Shreeharsha developed a hybrid 3D U-Net model based on ResNet-50 for brain tumor segmentation and classification. The accuracy of the model was improved by removing noise from MRI images with normalization. The model accurately classified four tumor modalities (T1, T2, CE-T1 and FLAIR) and achieved 99.32%, 99.40% and 99.80% accuracy in DB1, DB2 and DB3 datasets, respectively. A dice coefficient of up to 98.80% was achieved in segmentation [6]. Khoramipour et al. developed a multi-path Convolutional Neural Network (CNN) model for classifying brain tumors and integrated Support Vector Machines (SVM) as a classifier. The MCNN33-SVM model successfully classified glioma, meningioma, pituitary tumor and healthy brain images with 99.1% accuracy [7].

2. Materials and Method

The performance of deep learning models used for classifying brain tumor images was evaluated using a confusion matrix. The confusion matrix contains true positive (TP), false positive (FP), true negative (TN), and false negative (FN) values, providing a detailed assessment of the model's classification performance. Based on this matrix, performance metrics such as accuracy, sensitivity, specificity, precision, and F1-score were calculated. These metrics represent the model's overall correct prediction rate, the ability to correctly detect positive class examples, the rate of correctly identifying negative class examples, the accuracy of positive predictions, and the harmonic mean of sensitivity and precision. The model's performance was analyzed using Equations 1-5, and the proposed model demonstrated high accuracy and reliability in classifying brain tumor images.

$$\text{accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (1)$$

$$\text{sensitivity} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

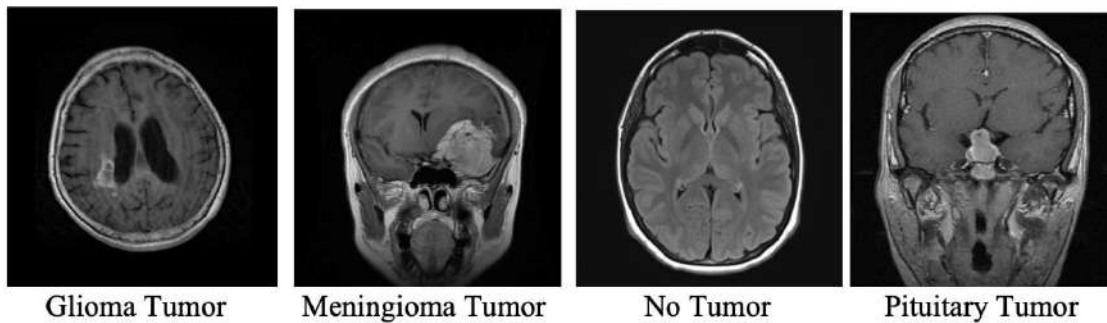
$$\text{specificity} = \frac{TN}{TN+FP} \quad (3)$$

$$\text{precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (4)$$

$$\text{F1 - score} = \frac{2TP}{2TP+FP+FN} \quad (5)$$

Brain Tumor MRI Dataset obtained from the Kaggle platform was used in the study [8]. Figure 1 consists of magnetic resonance (MRI) scans depicting four different types of brain

tumors and normal brain tissue. From left to right, the images represent glioma, meningioma, no tumor, and pituitary tumor. Each image highlights the characteristic features and locations of the respective tumor types. Glioma typically appears as an irregularly shaped tumor that infiltrates surrounding brain tissue, while meningioma is more distinctly bordered, often located around the brain's meninges. The "No Tumor" category represents healthy brain tissue without any lesions or abnormal structures. The pituitary tumor is located in the area of the pituitary gland, generally smaller but potentially affecting surrounding structures. Such images play a crucial role in training deep learning models for brain tumor diagnosis and classification, as the distinctive visual features of each tumor type are essential for the model to learn to make accurate classifications.



56 **Figure 2. MRI images of different brain tumors.**

3. Results

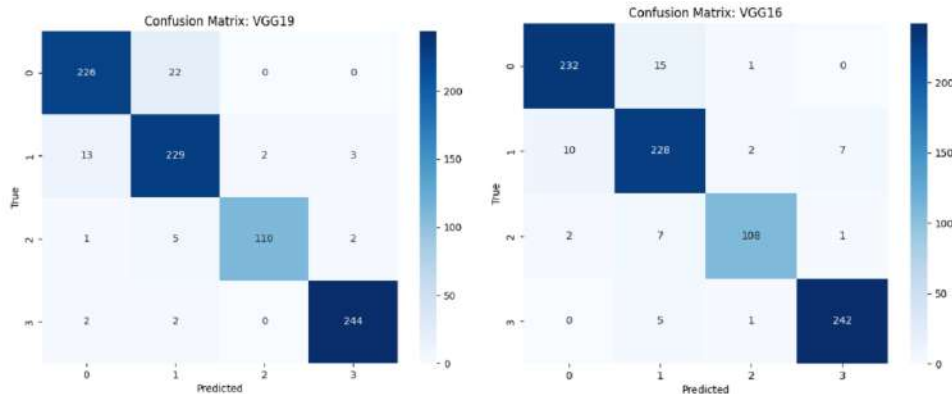
Table 1 presents the performance metrics, including accuracy, sensitivity, specificity, precision, and F1-score, comparing the VGG19 and VGG16 models in the task of brain tumor classification. VGG19 demonstrates a high performance with an accuracy of 93.96%, sensitivity of 91.12%, specificity of 94.62%, precision of 93.96%, and an F1-score of 91.18%. VGG16, on the other hand, shows a slightly superior performance with an accuracy of 94.07%, sensitivity of 93.92%, specificity of 95.79%, precision of 93.82%, and an F1-score of 93.87%. Both models provide high accuracy and reliability, making them effective tools for brain tumor diagnosis and classification. These results indicate that both models are robust and reliable for brain tumor classification.

Table 1 Performance metrics of vgg19 and vgg16 models for brain tumor classification

CNN Models	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1_score
VGG19	0.9396	0.9112	0.9462	0.9396	0.9118
VGG16	0.9407	0.9392	0.9579	0.9382	0.9387

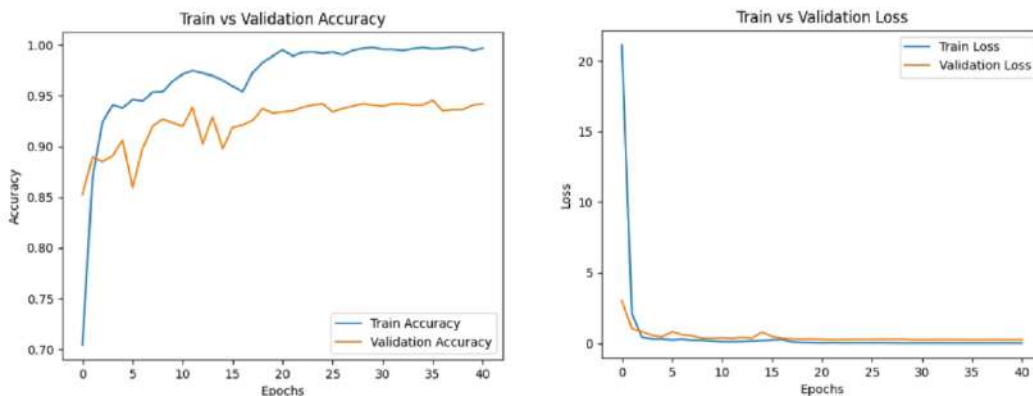
Figure 2 presents the confusion matrices comparing the brain tumor classification performance of the VGG19 and VGG16 models. The matrix on the left corresponds to the VGG19 model, while the matrix on the right corresponds to the VGG16 model. These matrices show the true positive (TP), false positive (FP), true negative (TN), and false negative (FN) values for each model, providing a detailed analysis of the classification performance. In the VGG19 matrix, most of the correctly classified instances are represented by true positives (TP), with false positives (FP) remaining at a certain level. Similarly, in the VGG16 matrix, correct

classifications are predominantly shown as true positives (TP), with misclassifications being at lower levels. These visuals illustrate the accuracy of both models in brain tumor classification and highlight subtle differences in their performance.



57 **Figure 3. Confusion matrix of VGG19 and VGG16 models.**

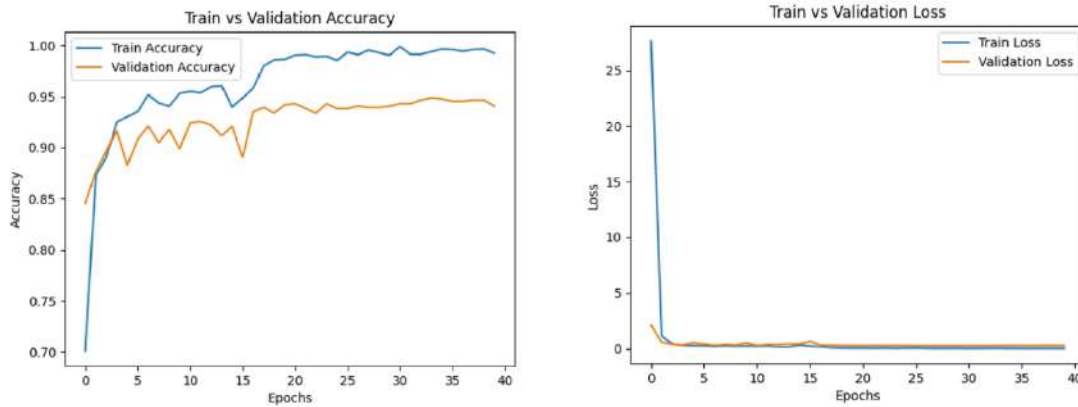
Figure 3 shows the training and validation accuracy and loss values during the training process of the VGG19 model. The graph on the left illustrates how the training accuracy and validation accuracy change over epochs. The training accuracy (blue line) increases rapidly and approaches 100%, while the validation accuracy (orange line) increases more slowly and eventually reaches around 90%. This indicates that the model adapts very quickly to the training data but learns more slowly on the validation data. The lower validation accuracy compared to training accuracy may suggest the possibility of overfitting, as the model performs well on the training set but is less successful on the validation set. The graph on the right shows the differences between the training loss and validation loss. The training loss (blue line) drops quickly in the first few epochs, while the validation loss (orange line) decreases more gradually. This reflects the model's faster adaptation to the training data and slower learning process on the validation data. However, both losses decrease significantly over time, indicating that the model has completed its learning process successfully and has a low error rate.



58 **Figure 4. Training and Validation Accuracy and Loss for VGG19 Model.**

Figure 4 presents the training and validation accuracy and loss values during the training process of the VGG16 model. The graph on the left shows how the training accuracy and validation accuracy change over epochs. The training accuracy (blue line) increases rapidly and approaches 100% as the training progresses. The validation accuracy (orange line) increases more slowly and eventually reaches around 90%. This indicates that the model adapts very quickly to the training data but performs with lower accuracy on the validation data, suggesting

the possibility of overfitting. The graph on the right shows the differences between training loss and validation loss. The training loss (blue line) decreases rapidly, while the validation loss (orange line) decreases more gradually. This reflects the model's fast adaptation to the training data and slower learning on the validation data. However, both losses decrease significantly over time, indicating that the model has completed its learning process successfully with a low error rate.



59 **Figure 5. Training and Validation Accuracy and Loss for VGG16 Model.**

4. Conclusion

The performances of deep learning-based VGG19 and VGG16 models are comprehensively compared using magnetic resonance images (MRI) for brain tumor classification. The results show that both models are effective tools in this field with high accuracy and reliability rates. The VGG16 Model demonstrated better performance metrics compared to the VGG19 model, achieving 94.07% accuracy, 93.92% sensitivity, 95.79% specificity, 93.82% precision, and an F1-score of 93.87%. In contrast, the VGG19 model attained 93.96% accuracy, 91.12% sensitivity, 94.62% specificity, 93.96% precision, and an F1-score of 91.18%. These results indicate that VGG16 exhibits a more consistent and balanced performance in classification tasks.

The findings of the study emphasize that deep learning models can be used in medical imaging and brain tumor diagnosis with high accuracy rates and offer significant advantages over traditional methods in this context. In particular, the VGG16 model stands out with its superior performance metrics and is considered a strong candidate for brain tumor classification.

In the future, testing these models on larger and more diverse datasets may improve their suitability in real-world applications. It is also recommended to investigate transfer learning, model optimization and hybrid approaches to ensure generalizability and success in clinical applications. Such studies may lead to wider acceptance of deep learning-based methods in clinical practice.

References

- [1] J. S. Paul, A. J. Plassard, B. A. Landman, and D. Fabbri, Deep learning for brain tumor classification, in *Proc.SPIE*, 2017, 10137, 1013710.
- [2] F. Uysal and M. Erkan, Evrişimsel Sinir Ağları Temelli Derin Öğrenme Modelleri Kullanılarak Beyin Tümörü Manyetik Rezonans Görüntülerinin Sınıflandırılması TT -

- Classification of Brain Tumor Magnetic Resonance Images Using Convolutional Neural Networks-Based Deep Learning Models, *EMO Bilim. Dergi*, 13 (2), (2023), 19–27.
- [3] M. B. Sahaai, G. R. Jothilakshmi, R. Selva Kumar, and S. Praveen Kumar, Comparative Analysis on Brain Tumor Classification using Deep Learning Models, in *2022 IEEE International Conference on Data Science and Information System (ICDSIS)*, 2022, 1–5.
- [4] P. R. Krishna, V. V. K. D. V Prasad, and T. K. Battula, Optimization empowered hierarchical residual VGGNet19 network for multi-class brain tumour classification, *Multimed. Tools Appl.*, 82 (11), (2023), 16691–16716.
- [5] T. Singh, R. R. Nair, T. Babu, A. Wagh, A. Bhosalea, and P. Duraisamy, BrainNet: A Deep Learning Approach for Brain Tumor Classification, *Procedia Comput. Sci.*, 235, (2024), 3283–3292.
- [6] J. Shreeharsha, Detection of brain tumor using Hybridized 3D U-Net model on MRI images, *Multimed. Tools Appl.*, (2024).
- [7] S. Khoramipour, M. Gandomkar, and M. Shakiba, Enhancement of brain tumor classification from MRI images using multi-path convolutional neural network with SVM classifier, *Biomed. Signal Process. Control*, 93, (2024), 106117.
- [8] M. Nickparvar, Brain Tumor MRI Dataset. Kaggle, 2021.

FARKLI ORANLARDA Mg İLAVESİNİN ALSi12/B₄C KOMPOZİTLERİN TERMAL GENLEŞMESİNE ETKİSİ

Doç. Dr. Engin ÇEVİK

Karabük Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

engincevik@karabuk.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-4863-8762>

Prof. Dr. Yavuz SUN

Karabük Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

ysun@karabuk.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-7336-5591>

ÖZET

Bu çalışmada, AlSi12 kalite alüminyum alaşımı ticari olarak temin edilmiştir. Master alaşıma ağırlıkça 3 farklı oranda Mg (%1-2-4) ilavesi gerçekleştirilerek 4 farklı matris elemanı üretilmiştir. Sonrasında 7 mm çap 50 mm uzunluğundaki hacmin %60' ı B₄C takviye elemanı olacak şekilde preformlar hazırlanmıştır. Üretilen matris elemanları, hazırlanan preformlara basınçlı infiltrasyon tekniği kullanılarak infiltre edilmiştir.

Üretilen kompozitlerin termal genleşme ölçümleri 100-200-300 °C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta Ø7 x 10 mm ölçülerinde numuneler kullanılarak dilatometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. AlSi12 alaşım matrisli kompozitlerde Mg ilavesi ile termal genleşme katsayısında düşüş gözlenmiş fakat bu düşüş nispeten küçük seviyelerde kalmıştır. Termal genleşme katsayısı 100 °C sıcaklıkta %4 Mg ilavesi ile %10 luk bir düşüş sergilerken 300 °C 'de düşüş biraz daha artarak %17 seviyelerinde gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: AlSi12/B₄C kompozitler, Porozite, Termal genleşme.

1.GİRİŞ

Elektronik devrelerde termal yönetim, temel olarak üç kademede ele alınabilir. Bunlar; yonga seviyesinde termal yönetim, kart seviyesinde termal yönetim ve sistem seviyesinde termal yönetimdir. Yonga seviyesinde termal yönetim, yarı iletken ve yonga paketleri üzerindeki ısıyı yayarak uzaklaştırmayı ifade eder. Kart seviyesinde termal yönetim baskılı devreler ve yonga paketlerinin üzerindeki ısıyı sistem şasisine iletmekle ilişkilidir. Sistem seviyesinde termal yönetim ise sistem şasisi üzerindeki ısıyı, ısı dönüştürücüye iletmeyi ve ısı dönüştürücü üzerindeki ısıyı uzaklaştırmayı amaçlar. Bu üç süreçte bütünüyle, devre elemanları tarafından üretilen ısı ortama verilir. Bu süreçlere konduksiyon, konveksiyon ve radyasyon ile ısı iletim mekanizmaları değişimli ya da eş zamanlı olarak hâkimdir [1,2].

Termal yönetim malzemelerinde ısı iletimi birinci seviyede önemli iken termal genleşme katsayısının da mümkün olduğunca düşük olması gerekmektedir. Metal matrisli kompozitler bu iki özelliğin optimizasyonunun sağlanabilmesi açısından ön plana çıkmaktadır.

Aluminyum alaşımlarına SiC takviyesi yaygın olarak yapılmaktadır. Diğer yandan bazı araştırmacılar karbon bileşiklerini (Grafit, KNT vb.) takviye elemanı olarak termal özelliklerin iyileştirilmesini sağlamışlardır [3,4].

Aluminyum matrisli kompozitlerde termal iletkenlik, matris elemanının kimyasal bileşimiyle birebir etkilidir. Sıcak presleme yöntemi ile üretilen 2009/SiC/30p ve 6092/SiC/25p kompozitlerinin ölçülen termal iletkenlikleri, katkı oranında porozite içeren matris iletkenliğine yakındır. Bu sonuç iletkenlikte temel rolün matriste olduğunu göstermektedir [5].

Wu ve arkadaşları, yapmış olduğu çalışmada Al/elmas kompozitlere Cu elementinin termal özellikler üzerindeki etkisini belirlemek üzere farklı oranlarda (0 -3 %) Cu ilavesinde bulunmuşlardır. Artan Cu ilavesi ile termal iletkenliğin geliştiği ve termal genleşme katsayısının $13 \times 10^{-6}/K$ 'den elektronik paketleme uygulamalarında kullanılan yarı iletkenlerin termal genleşme katsayısı olan $6 \times 10^{-6}/K$ 'e gerilediğini rapor etmişlerdir. Bu sonucun Cu ilavesi ile ergime derecesinin düşmesi ve Al_2Cu fazının oluşması neticesinde gerçekleşen daha güçlü arayüzey bağlantısından kaynaklandığını belirtmişlerdir [6].

T.Huber ve ekibinin yapmış olduğu kapsamlı çalışmada, üretim yöntemi, matris malzemesi ve takviye elemanı hacim oranı farklı olan kompozitlerin termal genleşme değerlerinin ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu ve benzer çalışmalar, artan takviye elemanı hacim oranının, kompozit termal genleşme katsayısında düşüşe sebep olduğunu net bir şekilde ortaya koymaktadır [7-12].

Ren ve arkadaşları, matris elemanına farklı oranlarda ilave edilen Mg ve Si elementlerinin basınçsız infiltrasyon yöntemi ile üretilmiş SiC/Al kompozitlerin termo-mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Si oranı %6 dan Mg oranı ise %4' den düşük olduğunda kompozitlerin yüksek porozite sebebiyle düşük termo-fiziksel özellikler gösterdiğini Si ilavesinin %6-%12 arasında Mg ilavesinin ise %4-8 arasında olduğunda termal iletkenliğin geliştiğini ve termal genleşme katsayısının düştüğünü rapor etmişlerdir. Bunun sebebinin belirtilen değerler üstünde ve altında porozitenin artmasından kaynaklandığını kanıtlamışlardır [13].

Gaz basınçlı infiltrasyon ile üretilmiş, hacimce %70 partikül takviye elemanı içeren Al99.5/SiC ve AlSi7Mg/SiC kompozitlerinin ısıl genleşme özellikleri incelenmiş ve genleşme davranışının lineer olmayıp üç ayrı sıcaklık aralığında farklılık gösteren yapıda olduğu tespit edilmiştir [14].

Bu çalışmada ise farklı oranlarda Mg ilavesinin AlSi12/B₄C kompozitlerin termal genleşme davranışlarına etkisi üç farklı (100, 200, 300 °C) sıcaklık için belirlenmiştir. Sonrasında kompozitlerin yapısında yer alan porozite ile termal genleşme katsayısı arasındaki bağıntı incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

AlSi12 alaşımı ticari olarak Seydişehir Aluminyum fabrikasından takviye elemanı olarak kullanılan B₄C partikülleri Alfa Aesar firmasından temin edilmiştir. Takviye oranı %60 olacak

şekilde $\text{Ø}7 \times 50$ mm uzunluğunda preformlar paslanmaz tüp içerisinde elle vibrasyona tutulmak suretiyle hazırlanmıştır. İnfiltrasyon esnasında partiküllerin homojen dağılımının bozulmaması amacıyla hazırlanan preformun üstü alumina filtreyle kapatılmış ve tüpün kalan kısmı silika döküm kum ile doldurulmuştur.

Diğer yandan kendi dizaynımız olan infiltrasyon düzeneği, tasarlayıp üretimini gerçekleştirdiğimiz elektrik rezistanslı fırın içerisine yerleştirilmiştir. 600 gr kapasiteli bir pota içerisinde hazırladığımız AA1050-XMg ve AlSi12-XMg alaşımlar düzeneğe içerisine yerleştirilmiş ve düzeneğin kapağı cıvata kullanılarak kapatılmıştır. İnfiltrasyon esnasında hava kaçaklarının önlenmesi amacıyla ünite ile kapak arasında plastik conta kullanılmıştır. Daha sonra fırın infiltrasyon sıcaklığı olarak belirlediğimiz $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa çıkartılmış ve tam olarak ergimenin sağlanması amacıyla 1 saat süreyle bekletilmiştir. Fırının ilk çalışmaya başladığı andan üretimin tamamlanmasına kadar geçen tüm süreçlerde inert bir gaz ortamının sağlanması amacıyla düzeneğe içerisinden Sf6 gazı geçirilmiştir.

Paslanmaz tüp içerisinde hazırladığımız preform, ergiyik içerisine daldırılmış ve sıvı metalin sıcaklığına ulaşması için 2 dakika tutulmuştur. Son olarak 8 bar infiltrasyon basıncı uygulanmış ve 2 dakika bekletilmiş ardından argon gazı üniteden serbest bırakılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen kompozitler infiltrasyon ünitesinden çıkarıldıktan sonra torna ile paslanmaz tüpler yüzeyden temizlenmiş ve kompozitler elde edilmiştir.

Mikroyapı incelemeleri için numuneler öncelikle hassas kesme cihazı kullanılarak elmas disk ile uygun boyutlara getirilmiştir. Struers marka cihaz kullanılarak sıcak bakalite alınmıştır ve daha sonra Struers marka otomatik zımparalama-parlatma cihazında standart metalografik prosedür uygulanarak hazırlanmıştır. Mikroyapısal incelemeler Nikon Epiphot 200 tipi optik mikroskop kullanılarak yapılmıştır.

Takviye ve porozite hacim oranı, kullanılan Nikon marka optik ışık mikroskobuna entegre Clemex yazılımı ile görüntü analiz yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bileşenlerin hacim oranları her bir kompozitin en az 7 farklı bölgesinden alınan mikroyapı fotoğrafları üzerinden saptanmıştır.

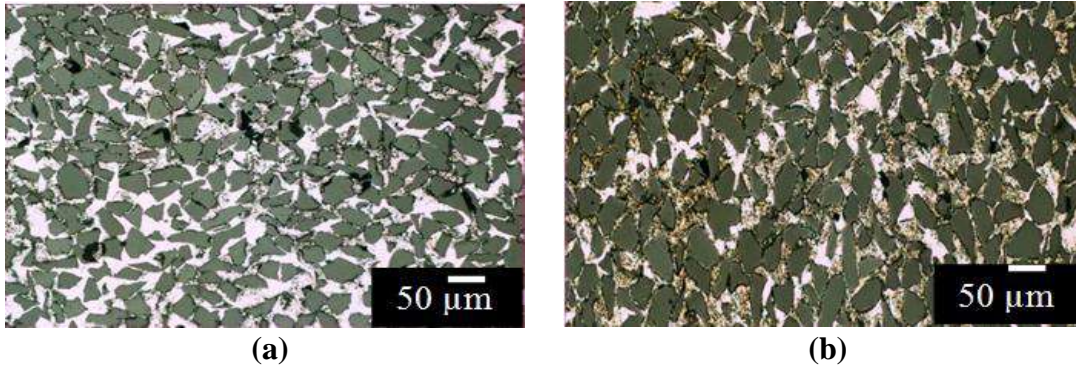
Her bir numunenin termal genleşme katsayıları, ODTÜ merkez laboratuvarında bulunan Setaram Labsys Dilatometre cihazı ile belirlenmiştir. Termal genleşme ölçümleri $100\text{-}200\text{-}300\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmak üzere üç farklı sıcaklıkta $\text{Ø}7 \times 10$ mm ölçülerinde numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Görsel 1’de ortalama $48\text{ }\mu\text{m}$ tane boyutu ve %60 hacim oranına sahip B₄C partikül takviyeli, farklı oranlarda Mg ilavesi ile üretilen AlSi12-XMg matrisli kompozit malzemelerin mikroyapı fotoğrafları yer almaktadır.

Mikroyapı incelemelerinde topaklanmanın gerçekleşmediği ve partikül dağılımında homojenizasyonun sağlandığı açıkça görülmektedir. Basınçlı infiltrasyon yöntemi kullanıldığında üretimin çok hızlı gerçekleşmesi sebebiyle yüksek takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde karşılaşılan en büyük problemlerden biri olan topaklanma problemi ortadan kalkmıştır [15]. Ancak çok küçük oranlarda da olsa takviye elemanı etrafında

poroziteler görülmektedir. Çizelge 1’de image analiz kullanılarak elde edilen partikül, matris ve porozite miktarları yer almaktadır. AlSi12 matrisli kompozitlerde Si ilavesinin saf alüminyum alaşımının ergime derecesini düşürüp matrisin akıcılığının artırması ile en küçük boşluklara bile sıvı metalin nüfuziyetinin kolaylaşmış olmasından dolayı oldukça düşük porozite yüzdelere ulaşabilmektedir. Mg ilavesi ile sıvı metalin akışkanlığının artırılmasıyla daha düşük poroziteye sahip kompozitlerin üretimi gerçekleştirilebilmiştir. Master alaşım kullanılarak üretilen kompozitlerde %1,59 olarak hesapladığımız porozite miktarı bu alaşıma %4 Mg ilavesi ile %58’e yakın bir düşüşle %0,68’e kadar gerilemiştir. Takviye elemanı hacim oranı ortalama 58 ± 2 olarak bulunmuştur.



Görsel 1. Farklı oranlarda Mg içeren kompozit malzemelerin optik ışık fotoğrafları a) AlSi12-B₄C ve b) AlSi12-4Mg-B₄C.

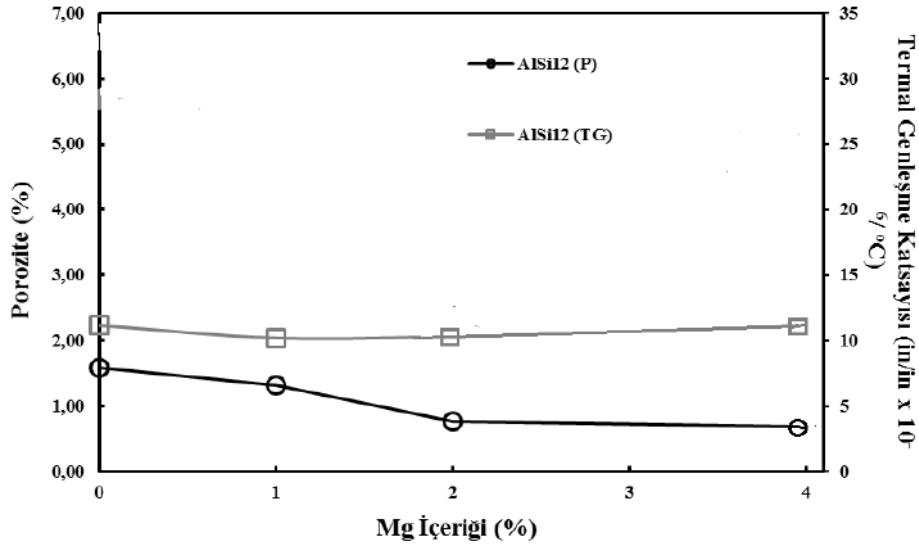
Çizelge 1. Farklı oranlarda Mg içeren AlSi12 matrisli kompozit malzemelerin takviye, porozite ve matris hacim oranları.

<i>Matris</i>	<i>Mg İçeriği (%)</i>	<i>Hacim Oranı (%)</i>		
		<i>B₄C</i>	<i>Matris</i>	<i>Porozite</i>
AlSi12	0	56,59	41,82	1,59
	1	54,21	44,47	1,32
	2	57,65	41,59	0,76
	4	59,90	39,42	0,68

Her bir numunenin termal genişleme katsayıları, dilatometre cihazı ile belirlenmiştir. Dilatometre cihazı ile belirlenen termal genişleme katsayısı değerleri Çizelge 2’de yer almaktadır. AlSi12 alaşım matrisli kompozitlerde Mg ilavesi ile termal genişleme katsayısında düşüş gözlenmiş fakat bu düşüş nispeten küçük seviyelerde kalmıştır. Termal genişleme katsayısı 100 °C sıcaklıkta %4 Mg ilavesi ile %10 luk bir düşüş sergilerken 300 °C ‘de düşüş biraz daha artarak %17 seviyelerinde gerçekleşmiştir.

Çizelge 2. Kompozit malzemelerin termal genişleme sonuçları.

Matris	Mg İlavesi (%)	Sıcaklık (°C)		
		100	200	300
AlSi12	0	11,1679	12,9601	17,8538
	1	10,2035	11,5444	15,7213
	2	10,2986	12,2703	14,5886
	4	10,789	11,2516	14,8186



Görsel 2. Termal genleşme katsayısının porozite ve Mg içeriği ile değişimi.

Genel olarak saf alüminyum alaşımları ile kıyaslandığında Si ilaveli kompozitler daha düşük termal genleşme göstermektedir. Bu sonuç hem alüminyuma göre daha düşük termal genleşmeye sahip Si ilavesinden, hem de Si'un ergime derecesini düşürüp daha düşük poroziteye sahip kompozitlerin üretilmesine imkân sağlamasından kaynaklanmaktadır [13]. Mg ilavesi ile porozite yüzdesi düştükçe termal genleşme katsayısı da buna paralel olarak düşmektedir. Elde edilen termal genleşme verileri literatürle de uyumluluk göstermektedir [6,13].

4.GENEL SONUÇLAR

%60 hacim oranında 48 µm B₄C partikül ile takviye edilmiş AlSi12 matrislere %0-4 oranında Mg ilavesi ile üretilen kompozit malzemelerin mikroyapı incelemeleri ve termal genleşme deneylerinden aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

1. Farklı oranlarda Mg ilavesi ile üretilen AlSi12 matrisli kompozitlerde porozite genellikle matris takviye arayüzündeki ıslatabilirliğin zayıflamasından kaynaklanmaktadır. AlSi12 matrise %4 Mg ilavesinde ise porozite miktarı %1,59'lardan %58'e yakın bir düşüşle %0,68'e kadar gerilemiştir.
2. AlSi12 alaşım matrisli kompozitlerde Mg ilavesi ile termal genleşme katsayısında düşüş gözlenmiş fakat bu düşüş nispeten küçük seviyelerde kalmıştır. Termal genleşme katsayısı 100 °C sıcaklıkta %4 Mg ilavesi ile %10 luk bir düşüş sergilerken 300 °C'de düşüş biraz daha artarak %17 seviyelerinde gerçekleşmiştir.

5.TEŞEKKÜR

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında desteklenmiştir.

6.KAYNAKLAR

1. Tong, X. C., *Advanced materials for thermal management of electronic packaing*, Springer Science + Business Media, Inc., 30, 2011.
2. Ohring, M., and Kasprzak, L., *Packaging materials, processes, and stresses*, Elsevier B.V., 443-503, 2015.
3. Molina, J. M., Rheme, M., Carron, J. and Weber, L., *Thermal conductivity of aluminum matrix composites reinforced with mixtures of diamond and SiC particles*, *Scripta Materialia*, 58: 393–396, 2008.
4. Chen, J. K. and Huang, I. S., *Thermal properties of aluminum–graphite composites by powder metallurgy*, *Composites, Part B*, 44: 698–703, 2013.
5. Geiger, A. L., Hasselman, D. P. H. and Welch, P., *Electrical and thermal conductivity of discontinuously reinforced aluminum composites at sub-ambient temperatures*, *Acta Mater.*, 45: 3911-3914, 1997.
6. Wu, J., Zhang, H., Zhang, Y., Li, J. and Wang, X., *Effect of copper content on the thermal conductivity and thermal expansion of Al–Cu/diamond composites*, *Materials and Design*, 39: 87–92, 2012.
7. Zhang, Q. and Gu, M., *Effect of silicon carbide particles on properties of Al/Si_p + SiC_p*, *Materials Science and Engineering A*, 419: 86–90, 2006.
8. Huber, T., Degischer, H. P., Lefranc, G. and Schmitt, T., *Thermal expansion studies on aluminium-matrix composites with different reinforcement architecture of SiC particles*, *Composites Science and Technology*, 66: 2206–2217, 2006.
9. Arpon, R., Molina, J. M., Saravanan, R. A., Garcia-Cordovilla, C., Louis, E. and Narciso, J., *Thermal expansion behaviour of aluminium/SiC composites with bimodal particle distributions*, *Acta Materialia*, 51: 3145–3156, 2003.
10. Chan, K. C. and Liang, J., *Thermal expansion and deformation behaviour of aluminium-matrix composites in laser forming*, *Composites Science and Technology*, 61: 1265–1270, 2001.
11. Chu, K., Jia, C., Liang, X., Chen, H. and Guo, H., *The termal conductivity of pressure infiltrated SiC_p/Al composites with various size distributions*, *Experimental study and modeling*, *Materials and Design*, 30: 3497–3503, 2009.
12. Guo-gin, C., Zi-yang, X., Wen-shu, Y., Long-tao, J. and Gao-hui, W., *Effect of thermal-cooling cycle treatment on thermal expansion behavior of particulate reinforced aluminum matrix composites*, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 20: 2143-2147, 2010.
13. Ren, S., He, X., Qu, X., Humail, I. S. and Li, Y., *Effect of Mg and Si in the aluminum on the thermo-mechanical properties of pressureless infiltrated SiC_p/Al composites*, *Composites Science and Technology*, 67: 2103–2113, 2007.
14. Nam, T. H., Requena, G. and Degischer, P., *Thermal expansion behaviour of aluminum matrix composites with densely packed SiC particles*”, *Composites, Part A*, 39: 856–865, 2008.

15. Ahlatçı, H., Al/60 SiC kompozitlerin mekanik özelliklerine ve aşınma davranışına takviye boyutunun ve matris bileşiminin etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-150, 2003.

FARKLI ORANLARDA Mg İÇEREN AA1050/B₄C KOMPOZİTLERİN POTANSİYODİNAMİK POLARİZASYON TEST SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Doç. Dr. Engin ÇEVİK

Karabük Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

engincevik@karabuk.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-4863-8762>

Prof. Dr. Yavuz SUN

Karabük Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

ysun@karabuk.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-7336-5591>

ÖZET

Bu çalışmada, AA1050-XMg/B₄C kompozitlerin korozyon davranışını belirlemek için potansiyodinamik polarizasyon deneyleri uygulanmıştır. Bu amaçla basınçlı infiltrasyon tekniği kullanılarak matris elemanı olarak farklı oranlarda (%1,2 ve 4) Mg ilavesi içeren AA1050 alaşımı, takviye elemanı olarak B₄C kullanılarak kompozitler üretilmiştir. 8 bar basınç uygulanarak 7 mm çapındaki paslanmaz tüp içerisinde hazırlanan B₄C preforma 800 °C sıcaklıkta elektrik rezistanslı fırında ergitilen 4 farklı alaşıma sahip matris elemanı infiltrate edilmiştir.

Üretilen kompozit malzemelerin öncelikle mikroyapı karakterizasyonu ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonrasında korozyon davranışlarının tespiti amacıyla potansiyodinamik polarizasyon testleri uygulanmıştır. Bu testler NaCl ve H₂SO₄ çözeltileri olmak üzere iki farklı çözeltide yapılmıştır. Her iki çözeltide de Mg ilavesi I_{kor} değerlerinde artışa sebep olmuştur. H₂SO₄ çözeltisinde potansiyodinamik ölçümleri gerçekleştirilen AA1050 alüminyum matrisli kompozitlerde akım yoğunluğu 3,23µA ölçülürken, %4 Mg ilave edildiğinde 101 µA akım yoğunluğu tespit edilmiştir. NaCl çözeltisinde gerçekleştirilen test sonuçlarında ise akım yoğunluğu 393 nA (AA1050 Matris) den 5,4 µA (AA1050+4Mg) e yükselmiştir.

Anahtar Kelimeler : AA1050/B₄C kompozitler, Korozyon, Potansiyodinamik polarizasyon.

1.GİRİŞ

Alüminyum korozyon dayanımı açısından metalik malzemeler arasında ön plana çıkmaktadır. Ancak alaşımlandırıldıklarında genellikle korozyon özellikleri olumsuz yönde etkilenmektedir. Alüminyum matrisli kompozitlerde ise takviye matris arayüzey etkileşimleri oldukça önem arz etmektedir çünkü lokal korozyon genellikle takviye/matris arayüzeyi gibi fiziksel ve kimyasal heterojenliklerden başlamaktadır [1].

Kumari ve arkadaşları, Al6061 alüminyum alaşımına %15 oranında SiC takviyesi ile ürettikleri kompozitlerle Al6061 alüminyum alaşımlarının sodyum hidroksit çözeltisindeki korozyon davranışlarını kıyaslamışlardır. Üretilen kompozitlerin alaşıma göre korozyon dayanımının daha düşük olduğunu buna da SiC partiküllerinin ve SiC ilavesi ile arayüzeyde oluşan intermetaliklerin etkili olduğunu belirtmişlerdir [2].

Shanbhag ve arkadaşlarının düşük korozyon dayanımı ile bilinen ve endüstride yoğun olarak kullanılan Al7075 alüminyum alaşımına sıkıştırılmalı döküm yöntemi ile %10 ve %15 oranlarında Al₂O₃ partikül ilavesi sonrasında korozyon dayanımlarındaki değişimi deniz suyu ve endüstriyel ortamlarda (NaCl+ (NH₄)₂ SO₄) elektrokimyasal yöntemle test etmişlerdir. Deniz suyunda oyuklanma şeklinde görülen korozyonun endüstriyel ortamda ise taneler arası korozyon şeklinde görüldüğü, deniz suyunda korozyonun daha hızlı gerçekleştiğini rapor etmişlerdir. Araştırmacılar partikül oranı arttıkça korozyon hızının arttığını belirtmişler bunu da matris takviye arasındaki düşük bağlanma ve takviye elemanın kırılmasına bağlamışlardır [3].

Dobrzanski ve arkadaşları, toz metalurjisi yöntemiyle toz formunda 2124 alüminyum alaşımı ile farklı oranlarda (%5-10-15) Al₂O₃ partikülleri kullanarak üretimini gerçekleştirdikleri kompozitlere %3 NaCl çözeltisinde korozyon testleri uygulamışlardır. %5 ve %10 partikül takviyesinde korozyon dayanımı çok az artış gösterirken %15 Al₂O₃ ilavesiyle üretilen kompozitin korozyon dayanımı matris metaline göre daha düşüktür bu sonuçlar kısmi olarak Shanbhag ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma ile örtüşmektedir [3, 4].

Bu çalışmada basınçlı infiltrasyon tekniği kullanılarak üretilen 4 farklı kompozit malzemenin potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri iki farklı çözelti kullanılarak değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

AA1050 alüminyum alaşımı Teknik Alüminyum fabrikasından temin edilmiştir. Ağırlıkça %0-4 oranlarında Mg içeriği, temin edilen Al alaşımlarına saf magnezyum ilavesiyle sağlanmıştır. Çizelge 1’de kullanılan ve ilave edilen matris elemanlarının kimyasal bileşimleri verilmiştir. Takviye elemanı olarak 48 mikron ortalama tane boyutuna sahip B₄C partikülleri kullanılmıştır. Takviye oranı %60 olacak şekilde Ø7x50 mm uzunluğunda preformlar paslanmaz tüp içerisinde elle vibrasyona tutulmak suretiyle hazırlanmıştır. Paslanmaz tüp içerisinde hazırladığımız preform, ergiyik içerisine daldırılmış ve sıvı metalin sıcaklığına ulaşması için 2 dakika tutulmuştur. Son olarak 8 bar infiltrasyon basıncı uygulanmış ve 2 dakika bekletilmiş ardından argon gazı üniteden serbest bırakılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen kompozitler infiltrasyon ünitesinden çıkarıldıktan sonra torna ile paslanmaz tüpler yüzeyden temizlenmiş ve kompozitler elde edilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan matris elemanlarının kimyasal bileşimleri.

	Pb	Mg	Al	Zn	Cu	Fe	Mn	Ni	Si	Ti
AA1050	0,1	0,002	99,588	0,011	0,011	0,215	---	---	0,116	0,020
Mg	---	99.94	0.0268	0.0027	0.0004	0.0030	0.0047	0.0005	0.0074	0.0009

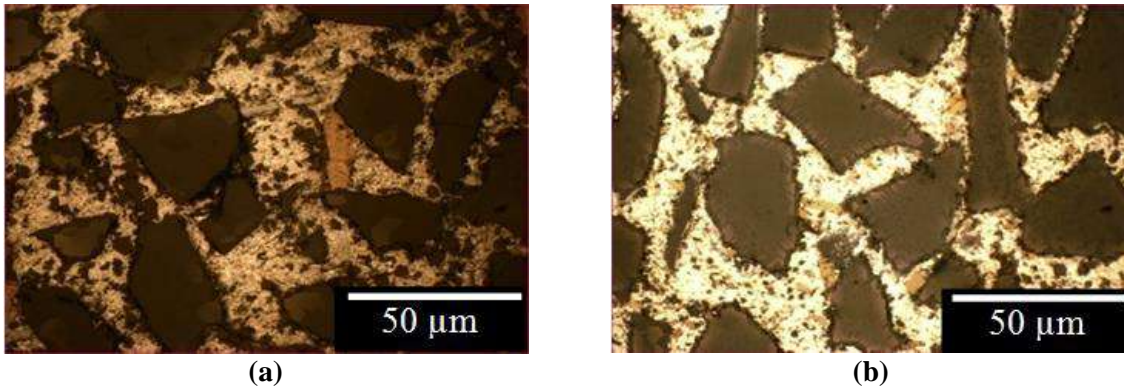
Mikroyapı karakterizasyonu Clemex yazılıma sahip optik mikroskop (LOM) ve X ışınları difraksiyonu (XRD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Korozyon deneylerine tabi tutulacak olan numuneler elmas diskle $\varnothing 7 \times 10$ mm boyutlarında kesilmiştir. Kesilen numuneler zımparalanıp parlatıldıktan sonra ultrasonik temizleme cihazında 3 dakika boyunca saf su kullanılarak temizlenmiş ve kurutulmuştur.

Polarizasyon testleri %3,5 NaCl ve %3,5 H₂SO₄ çözeltilerinde, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Potansiyodinamik polarizasyon deneylerinde Gamry marka Potansiyostat/Galvonostat kullanılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Görsel 1 de, ortalama 48 μm boyutlarında B₄C partikülleri ile takviye edilmiş AA1050-XMg matrisli kompozit malzemelerin mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Mikroyapısal incelemelerden, genel olarak matris içerisinde topaklanma probleminin görülmediği, partikül dağılımının uniform olduğu anlaşılmaktadır. Ancak porozitelerin partikül etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. AA1050 matrisli kompozitlerde daha büyük poroziteler görülürken %4 Mg ilavesi sonrası sadece takviye elemanı etrafında ufak porozitelerin oluştuğu görülmektedir. İncelenen AA1050 matrisli ve Mg ilavesi ile üretilen kompozitlere ait takviye, matris ve porozite hacim oranları Çizelge 2 de verilmiştir. B₄C partikül hacim oranı yaklaşık %60 olup %4 Mg ilavesi ile porozite miktarı %6,60'tan %0,77'ye düşüş göstermiştir.

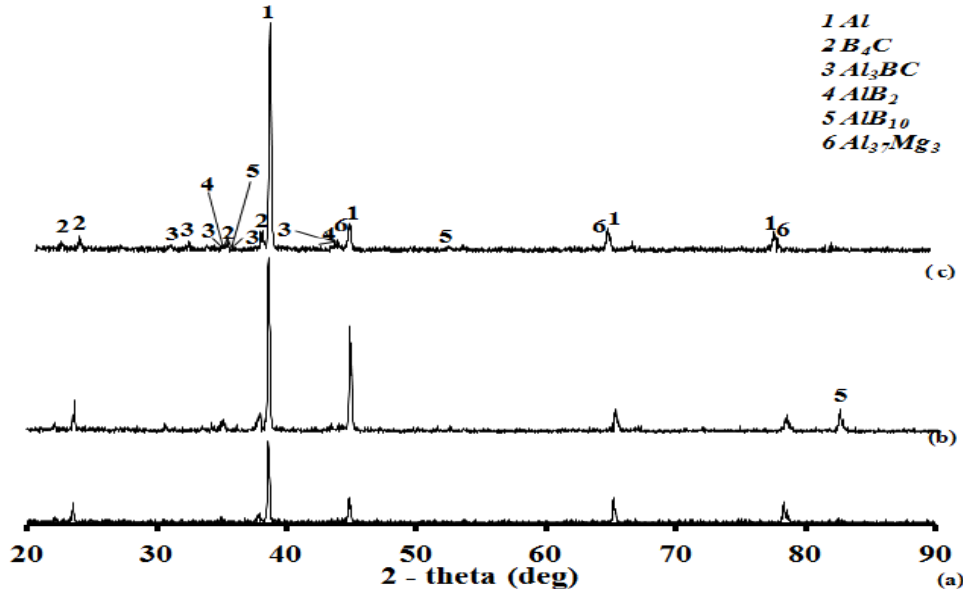


Görsel 1. Farklı oranlarda Mg içeren kompozit malzemelerin optik ışık fotoğrafları a) AA1050-B₄C ve b) AA1050-4Mg-B₄C.

Çizelge 2. Farklı oranlarda Mg içeren AA1050 matrisli kompozit malzemelerin takviye, porozite, ve matris hacim oranları.

<i>Matris</i>	<i>Mg İçeriği (%)</i>	<i>Hacim Oranı (%)</i>		
		<i>B₄C</i>	<i>Matris</i>	<i>Porozite</i>
AA1050	0	58,80	34,60	6,60
	1	59,30	36	4,70
	2	60,47	37,64	1,89
	4	57,36	41,87	0,77

Görsel 2’de AA1050 alüminyum alaşımına %0-4 Mg ilavesi ile üretilmiş kompozitlere ait XRD paternleri yer almaktadır. XRD analizlerinden görüldüğü üzere B₄C takviyesi ile üretilen saf alüminyum matrisli kompozitelerde Al₃BC, AlB₂ ve AlB₁₀ fazlarının oluştuğu Mg ilavesi ile bu fazlara ek olarak Al₃₇Mg₃ fazının ortaya çıktığı tespit edilmiştir [5].



Görsel 2. Farklı oranlarda Mg içeren kompozit malzemelerin XRD paternleri a) AA1050-B₄C, b) AA1050-2Mg-B₄C ve c) AA1050-4Mg-B₄C.

Bu çalışmada üretilen kompozitler iki farklı çözeltide (%3,5 NaCl ve %3,5 H₂SO₄) potansiyodinamik korozyon testlerine tabi tutulmuşlardır.

%3,5 NaCl ortamında yapılan potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri ile elde edilen korozyon akım yoğunlukları (I_{kor}) ve korozyon potansiyelleri (E_{kor}) Çizelge 3’ de verilmektedir.

AA1050 matris ile kıyaslandığında Mg miktarı arttıkça I_{kor} değerinin arttığı gözlemlenmiştir. İncelenen kompozitlerin korozyon potansiyelleri ise artan Mg miktarı ile düşüş göstermiştir.

Çizelge 3. %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde gerçekleştirilen potansiyodinamik korozyon deneyi sonuçları.

Matris	Mg İlavesi (%)	E_{kor}	I_{kor}	Korozyon Hızı (mpy)
AA1050	0	-882	393 nA	207,9 e ⁻³
	1	-889	3,11 µA	17, 2
	2	-951	4,94 µA	27,35
	4	-949	5,4 µA	43,6

%3,5 H₂SO₄ ortamında yapılan potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri ile elde edilen korozyon akım yoğunlukları (I_{kor}) ve korozyon potansiyelleri (E_{kor}) Çizelge 4’ de verilmektedir.

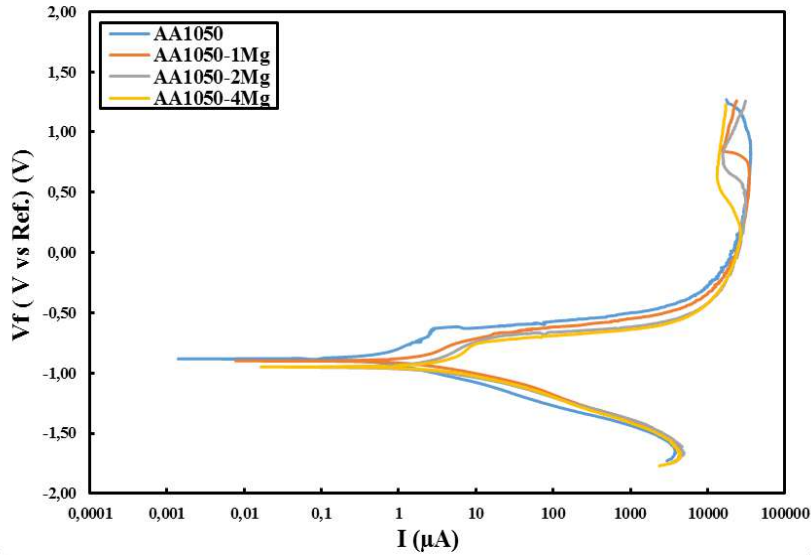
AA1050 alüminyum matrisli kompozitlerde akım yoğunluğu 3,23 µA ölçülürken %4 Mg ilave edildiğinde 101 µA akım yoğunluğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4. %3,5 H₂SO₄ çözeltisi içerisinde gerçekleştirilen potansiyodinamik korozyon deneyi sonuçları.

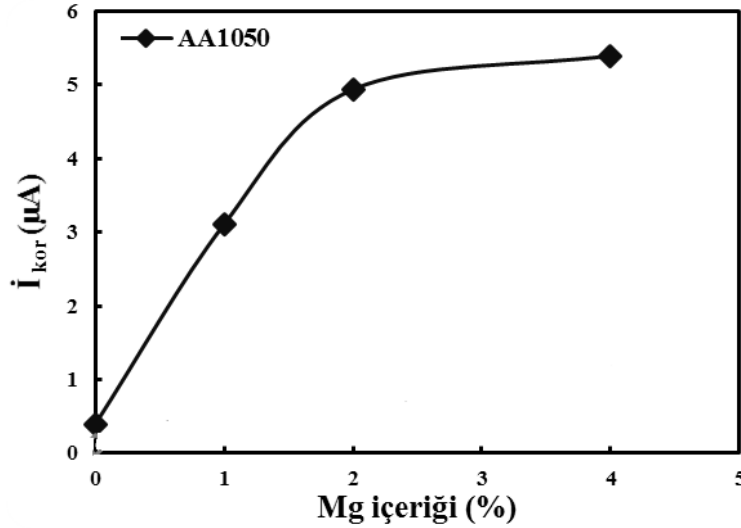
Matris	Mg İlavesi (%)	Ekor	İkor	Korozyon Hızı (mpy)
AA1050	0	-436	3,25 µA	17,91
	1	-414	67,5 µA	374
	2	-526	86,9 µA	481,1
	4	-504	101 µA	558,6

Üretimi gerçekleştirilen numuneler 35 g/l NaCl çözeltisi içerisinde potansiyodinamik korozyon testine tabi tutulmuştur. Görsel 3 'de potansiyodinamik korozyon deneyi sonrası elde edilen Tafel eğrileri görülmektedir.

AA1050 alüminyum matrislere Mg ilavesi sonrası artan Mg içeriği ile kompozitler daha yüksek İ_{kor} değerleri göstermiştir (Görsel 4). Bu durum Görsel 2'de yer alan XRD analizleri ile tespit ettiğimiz intermetaliklerle ilişkilendirilebilir. Birçok araştırmacı Al matrisli kompozitlerde üretim esnasında oluşan intermetaliklerin korozyon dayanımını düşürdüğünü belirtmişlerdir [1-4,6-8]. Mg ilavesi ile oluşan intermetalikler yapıda katot olarak davranırken matris elemanı anot olarak davranmaktadır. Bu sebeple ilk etapta çok hızlı bir reaksiyon gerçekleşmekte ve bu süreç anotun tükenmesine veya koruyucu oksit filmin oluşumuna kadar devam etmektedir.



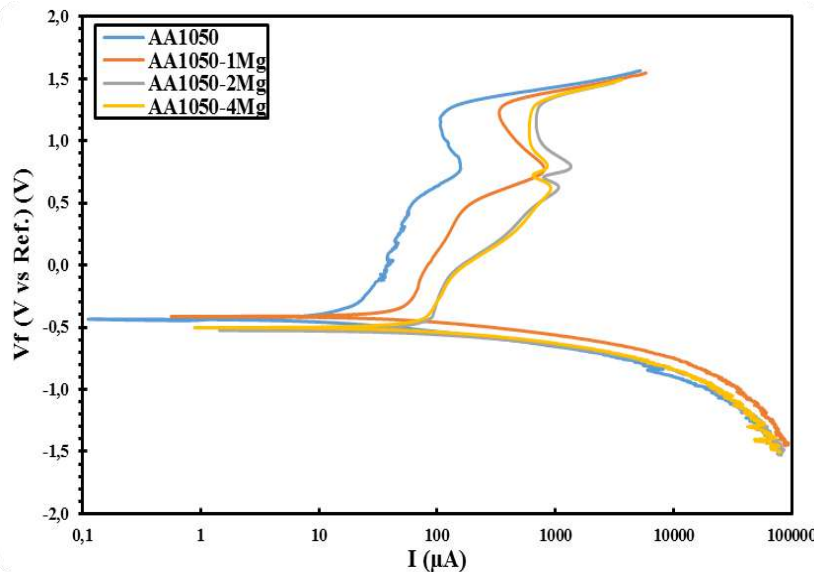
Görsel 3. NaCl Çözeltisinde gerçekleştirilen potansiyodinamik korozyon deneyi sonuçları.



Görsel 4. Potansiyodinamik korozyon deneyleri sonrasında gerçekleşen I_{kor} değerleri.

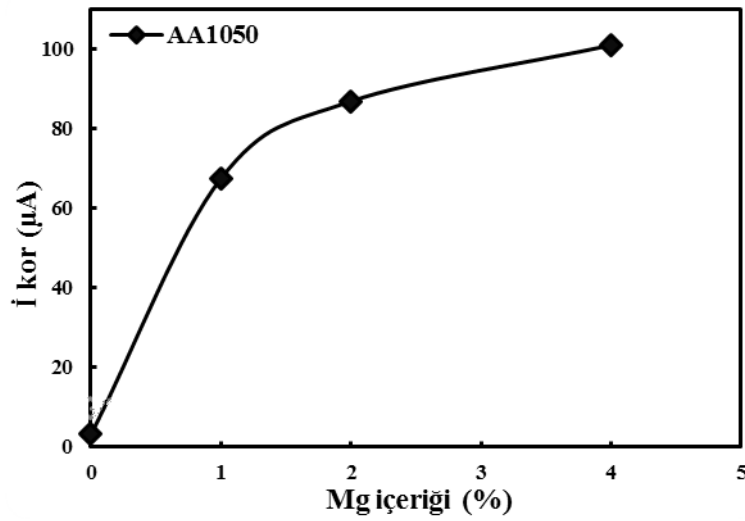
Tafel eğrilerinden görüldüğü üzere pasifleşme eğilimi matrise yapılan Mg ilavesi ile artmıştır. Dolayısıyla daldırma korozyon deneylerinin uzun sürede gerçekleştirilmesi sebebiyle ilk etapta yüzeydeki alüminyum hızlı bir şekilde tükenmiş ve koruyucu oksit filminin oluşması ile korozyon sınırlanmıştır. Böylece Mg içeren kompozitlerde artan pasifleşme eğilimi korozyon dayanımını arttırmıştır. Potansiyodinamik ölçümler ile daldırma korozyon testleri arasındaki farklılık ise deney süresi ile açıklanabilir. Bilindiği üzere potansiyodinamik deneyleri kısa süreli deneyler olması sebebiyle ilk etapta Mg ilavesi ile artan katot hacim oranı sebebiyle daha yüksek I_{kor} değerleri elde edilmiştir. Candan'ın 2009 yılında yapmış olduğu çalışma, elde ettiğimiz sonuçları destekler niteliktedir [9]. Şöyle ki AlXMg- SiC kompozitlere 1 saatin sonunda gerçekleştirdiği potansiyodinamik ölçümlerde, artan Mg içeriği neticesinde daha yüksek I_{kor} değerleri elde ederken, 7. günün sonunda yapmış olduğu analizlerde artan Mg ilavesinin I_{kor} değerlerinde düşüşe sebebiyet verdiğini kanıtlamıştır.

Görsel 5'de %3,5 H_2SO_4 çözeltisinde gerçekleştirilen potansiyodinamik korozyon deneyi sonrası elde edilen Tafel eğrileri görülmektedir.



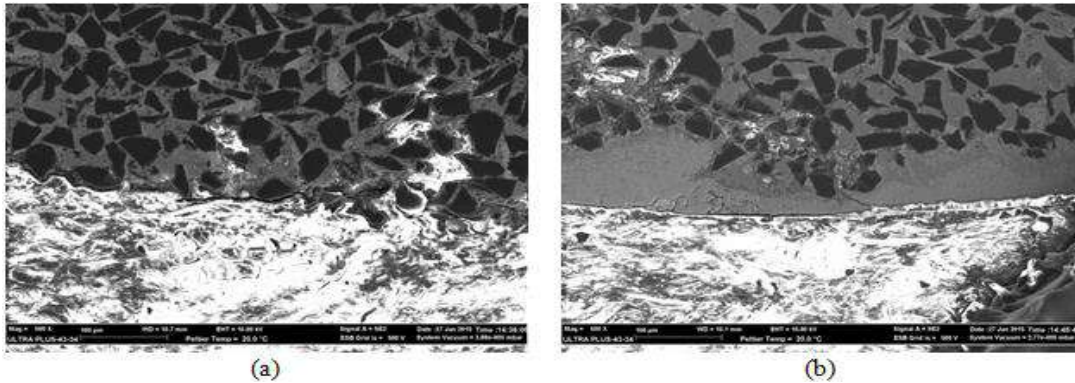
Görsel 5. H₂SO₄ Çözeltisinde gerçekleştirilen potansiyodinamik korozyon deneyi sonuçları

Bu eğrilerin anodik ve katodik dallarının extrapole edilmesiyle elde edilen korozyon akım yoğunlukları (I_{kor}) ve korozyon potansiyelleri Çizelge 4'de verilmiştir. Bu çizelgeden faydalanılarak I_{kor} değerlerinin Mg içeriğine göre değişimi Görsel 6'da çizilmiştir. Mg ilavesi arttıkça I_{kor} değerleri de buna paralel olarak artmıştır. Şekil 2'de yer alan XRD grafiklerinden görüldüğü üzere Mg ilavesi yapıda bulunan intermetalik ve ikincil fazların oranında artışlara sebep olmuştur. Oluşan bu fazlar mekanik ve tribolojik özellikleri olumlu etkilerken asidik ortamlarda korozif özellikleri olumsuz yönde etkilemiştir. Mg ilavesiz kompozitlerde daha geniş bir pasif bölge meydana gelirken Mg ilaveli kompozitlerde ise bu gölgenin daraldığı tespit edilmiştir.



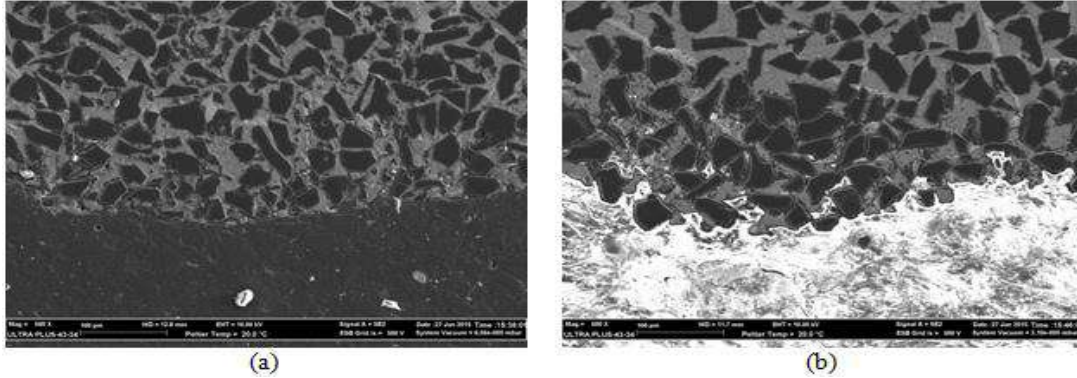
Görsel 6. Potansiyodinamik korozyon deneyleri sonrasında gerçekleşen I_{kor} değerleri.

Görsel 7 ve 8'de incelenen kompozit malzemelere ait yan kesit fotoğrafları yer almaktadır. Yan kesit fotoğraflarına baktığımızda ise Mg ilaveli matrise sahip kompozitlerde korozyonun daha derinlere nüfuziyetini göstermektedir. B₄C partiküllerinin katot olarak davranıp çevresindeki matris elemanının çözünmesine sebebiyet verdiği intermetaliklere teması halinde ise bu fazların kararlı olarak davranıp herhangi bir çözülmeye uğramadığı ve etrafında yer alan matrisde bozulmalara yol açtığı görülmektedir.



Görsel 7. NaCl çözeltisinde gerçekleştirilen korozyon testi sonrası yan kesit görüntüleri a) AA1050-B₄C ve b) AA1050-4Mg-B₄C.

Matris ve takviye arayüzeyinde başlayan korozyon, katodik olarak davranan $Al_{17}Mg_3$ ve Mg_2Si gibi intermetaliklerin de etkisiyle takviye ve matris arasında fiziksel deformasyona sebep olması neticesinde deney esnasında partiküllerin yapıdan kopup ayrılması ile sonuçlanmıştır.



Görsel 8. H_2SO_4 çözeltisine daldırma sonrasında yan kesit görüntüleri a) AA1050- B_4C , b) AA1050-4Mg- B_4C

4.GENEL SONUÇLAR

%60 hacim oranında $48 \mu m$ B_4C partikül ile takviye edilmiş AA1050 matrise %0-4 oranında Mg ilavesi ile üretilen kompozit malzemelerin mikroyapı incelemeleri ve potansiyodinamik korozyon deneylerinden aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

3. Üretilen kompozitlerde porozite genellikle takviye matris arayüzeyinde gerçekleşmiştir. AA1050 matrisin Mg ile alaşımlandırılmasıyla porozite hacim oranları büyük ölçüde düşmüştür. AA1050 matrise %4 Mg ilavesi sonucunda porozite miktarı %6,60'tan %0,77'ye düşüş göstermiştir.
4. AA1050 matrisli kompozit malzemelerin matrisinde Al_3BC , AlB_2 and AlB_{10} fazları oluşurken Mg ilavesi ile bu fazlara ek olarak $Al_{17}Mg_3$ fazı yer almaktadır.
5. %3,5 NaCl çözeltisinde gerçekleştirilen korozyon deneyleri sonrasında her iki çözeltide de Mg ilavesi I_{kor} değerlerinde artışa sebep olmuştur. H_2SO_4 çözeltisinde potansiyodinamik ölçümleri gerçekleştirilen AA1050 alüminyum matrisli kompozitlerde akım yoğunluğu $3,23 \mu A$ ölçülürken, %4 Mg ilave edildiğinde $101 \mu A$ akım yoğunluğu tespit edilmiştir.
6. NaCl çözeltisinde gerçekleştirilen korozyon deneylerinde yan kesitten alınan SEM fotoğraflarında daha yoğun oksit tabakası görülürken H_2SO_4 çözeltisinde korozyona maruz bırakılan numunelerde oksit oluşumuna neredeyse rastlanmamıştır.

5.TEŞEKKÜR

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında desteklenmiştir.

6.KAYNAKLAR

16. Alaneme, K. K., Adewale, T. M. and Olubambi, P. A., Corrosion and wear behaviour of Al–Mg–Si alloy matrix hybrid composites reinforced with rice husk ash and silicon carbide, Journal of Materials Research and Technology, 3(1), 9–16, 2014.

17. Kumari, P. D. R., Nayak, J. and Shetty, A. N., Corrosion behavior of 6061/Al-15 vol. pct. SiC(p) composite and the base alloy in sodium hydroxide solution, *Arabian Journal of Chemistry*, 1-11, 2012.
18. Shanbhag, V. V., Yalamoori, N. N., Karthikeyan, S., Ramanujam, R. and Venkatesan, K., Fabrication, surface morphology and corrosion investigation of Al 7075-Al₂O₃ matrix composite in sea water and industrial, *Procedia Engineering* 97, 607-613, 2014.
19. Dobrzanski, L. A., Włodarczyk, A. and Adamiak, M., Structure, properties and corrosion resistance of PM composite materials based on EN AW-2124 aluminum alloy reinforced with the Al₂O₃ ceramic particles, *Journal of Materials Processing Technology*, 162–163, 27–32, 2005.
20. Cevik, E., Sun, Y., Ahlatci, H., and Türen, Y., Effect of magnesium additions on composites with Al and Al – 12% Si matrices strengthened with B₄C and prepared by infiltration under pressure, *Metal Science and Heat Treatment*, 58, 357-361, 2016.
21. Dikici, B., Tekmen, C., Yigit, O., Gavgali, M. and Cocen, U., Detrimental effect of particle sol–gel coating on the corrosion behavior of A380–SiC composite, *Corrosion Science*, 51, 469–476, 2009.
22. Zhu, J. and Hihara, L. H., Corrosion of continuous alumina-fibre reinforced Al–2 wt.%Cu–T6 metal–matrix composite in 3.15 wt.%NaCl solution, *Corrosion Science*, 52, 406–415, 2010.
23. Payan, S., Petitcorps, Y. L., Olive, J. M. and Saadaoui, H., Experimental procedure to analyse the corrosion mechanisms at the carbon/aluminium interface in composite materials, *Composites Part A*, 32, 585–589, 2001.
24. Candan, S., An investigation on corrosion behaviour of pressure infiltrated Al–Mg alloy/SiCp composites, *Corrosion Science*, 51, 1392–1398, 2009.

SİNERLEME SÜRESİNİN BİR FONKSİYONU OLARAK MEKANİK ALAŞIMLAMA VE FAST SİNERLEME İLE YENİ BİR Mg7Ni ALAŞIMININ GELİŞTİRİLMESİ

Ezgi DEDEBAŞ

Ege Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü

ezgidedebas-97@outlook.com- 0009-0005-6194-670X

Prof.Dr. Rasim İPEK

Ege Üniversitesi /Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

rasim.ipek@ege.edu.tr- 0000-0001-5560-4643

ÖZET

%7 Nikel oranı içeren Mg7Ni alaşımından en düşük seviyede %80-%90 yoğunlukta ve %10-20 gözeneklilikte malzeme elde edilmesi amaçlanmıştır. Mekanik öğütme işlemi ile mekanik alaşımlandırılan karışım FAST sinterleme yöntemiyle katı malzemeye dönüştürülmüştür. Öğütülen malzeme tetraetil ortosilikat (TEOS) adı verilen sıvı polimer ile sol jel yöntemi kullanılarak tanecik yüzeyine kaplanmıştır. Teos alkol ile ½ oranında sentezlenmiştir. %7 nikel oranı MgNi faz diyagramından referans alınmıştır. En iyi gözeneklilik oranı yapılan literatür çalışmalarından %12-%18 olarak alınmıştır. Bu oranlarda malzeme, yüzeyine yapılabilecek hidrojen depolama, elektromanyetik testler ve benzeri bir absorpsiyon işlemine uygun olacaktır. Mg7Ni malzemesi TEOS kaplamalı ve kaplamasız olarak üretilmiş ve oksijene gösterdiği hassasiyet gözlemlenmiştir. Öğütme parametresi olarak 40 dk'lık; 20 dk öğütme ve 10 dk dinlenme şeklinde 2 tur işleme alınmıştır. Dinlenme sebebi olarak soğuk kaynaklanmayı önlemek amaçlanmıştır. FAST Sinterleme işlemi ile intermetalik katı malzeme eldesi amaçlanmıştır. Deneysel tasarımı olarak sabit parametrelerin yanı sıra farklı sıcaklık ve sinterleme sürelerinin fonksiyonları araştırılmıştır. Sıcaklık aralığı 300 – 400 °C alınmıştır. Ancak sıcaklık arttıkça amaçlanan gözeneklilik oranında düşme gözlemlenmiştir. Sinterleme süresi en temel olarak 7dk'dan başlatılmıştır. 7 dk sürenin ilk 3 dk'sının sıcaklık yükselimine ve geri kalan 4 dk ise sinterlenmeye ayrılmıştır. Sinterleme süresi 7 ile 15 dakika arasında artırılmasının gözleminde tam olarak kesin olmamakla birlikte gözeneklilikte az bir oranda düşme gözlemlenmiştir.

Analiz olarak SEM-EDS Görüntüleme, XRD, Vektörel network analizi, sertlik (Vickers) testi ve basma dayanımı testleri yapılmıştır ve yorumlanmıştır⁶.

⁶ Analiz sonuçları ve yorumları tam metin formunda detaylı açıklanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Toz metalurjisi, İntermetalik Bileşik, FAST Sinterleme, Mekanik Alaşımlandırma, Tetraetil Ortosilikat, Sol-jel Kaplama, Gözeneklilik

DEVELOPMENT OF A NEW Mg7Ni ALLOY THROUGH MECHANICAL ALLOYING AND FAST SINTERING AS A FUNCTION OF SINTERING TIME

ABSTRACT

The goal of this study is to produce Mg7Ni alloy with a 7% nickel content at a minimum density of 80-90% and a porosity of 10-20%. The mixture mechanically alloyed through mechanical milling was converted into solid material using the FAST sintering method. The milled material was coated on the particle surface using the sol-gel method with a liquid polymer called tetraethyl orthosilicate (TEOS). TEOS was synthesized at a 1:2 ratio with alcohol. The 7% nickel content was referenced from the Mg-Ni phase diagram. The optimal porosity ratio was taken as 12-18% based on literature studies. Materials with these porosity ratios are suitable for processes such as hydrogen storage, electromagnetic testing, and similar absorption applications on their surface. Mg7Ni material was produced both with and without TEOS coating, and its sensitivity to oxygen was observed. A grinding parameter of 40 minutes, consisting of two cycles of 20 minutes of milling and 10 minutes of resting, was employed to prevent cold welding during resting periods. The FAST sintering process aimed to produce intermetallic solid material. In addition to fixed parameters, the effects of varying temperatures and sintering times were investigated as part of the experimental design. The temperature range was set between 300-400°C. However, as the temperature increased, a decrease in the desired porosity ratio was observed. The sintering duration was initially set at 7 minutes, with the first 3 minutes dedicated to temperature ramping and the remaining 4 minutes to sintering. Observations of increasing sintering times from 7 to 15 minutes showed a slight decrease in porosity, though not conclusively.

Analyses included SEM-EDS imaging, XRD, vector network analysis, Vickers hardness tests, and compressive strength tests, which were conducted and interpreted.⁷

Keywords: Powder Metallurgy, Intermetallic Compound, FAST Sintering, Mechanical Alloying, Tetraethyl Orthosilicate, Sol-Gel Coating, Porosity

⁷ Analysis results and interpretations will be explained in detail in full text format.

1. GİRİŞ

Toz metalurjisi (PM), net şekilli bileşenlerin üretimine olanak sağlayarak malzeme tasarrufu sunan ve yeni alaşımların geliştirilmesini mümkün kılan önemli bir üretim yöntemidir (Koch ve Segev, 1998). Bu yöntemle, tipik 75 Nm boyutundaki magnezyum tozları alaşım elementleriyle karıştırılıp yüksek basınç altında kalıplanır ve kontrollü bir ortamda sinterlenir (Hennessey ve ark., 2005; Kipouros ve ark., 2006).

Nikel, üstün mekanik ve korozyon direnci özellikleri nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılır ve magnezyum alaşımlarına ilave edildiğinde süneklik, sertlik ve dayanım gibi özelliklerde iyileşmeler sağlar (Hassan ve Gupta 2002a, 2002b). Ancak magnezyum alaşımlarının düşük korozyon direnci, kullanımını sınırlar. Bu sorunu çözmek için çevre dostu sol-jel kaplama yöntemi uygulanabilir.

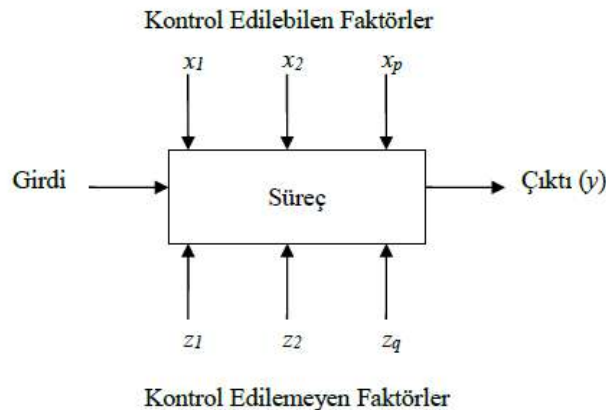
Tetraetil ortosilikat (TEOS) solüsyonu, Mg7Ni alaşımının yüzey kaplaması için kullanılmıştır. Sol-jel yöntemiyle gerçekleştirilen bu işlem, alaşım yüzeyi ile kaplama arasındaki bağların incelenmesini ve korozyon direncinin artırılmasını hedefler (López ve ark., 2010; Mallon, 1984). %7 Ni / %93 Mg oranında üretilen katı alaşımlara TEOS kaplama uygulanmış, ardından XRD analizleri, SEM-EDS haritalama, basma dayanımı, sertlik ölçümleri, yoğunluk hesaplamaları ve elektromanyetik özellikler için vektörel network analizi (VNA) gerçekleştirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (veya UYGULAMALAR)

2.1.DENEY TASARIMI

Deney tasarımı, bir sürecin performansını optimize etmek için, süreci etkileyen faktörlerde değişiklikler yaparak bu faktörlerin çıktılar üzerindeki etkilerini gözlemlene ve değerlendirme yöntemidir. (Montgomery, 1991)

Bir süreç ve bileşenleri genel olarak Şekil 1'deki gibi gösterilmektedir.



Görsel 3. Bir sürecin (Montgomery, 1991)

genel modeli

Süreç, belirli bir çıktı (ürün veya hizmet) elde etmek amacıyla makine, malzeme, yöntem ve insan gibi kaynakların birbiriyle etkileşim halinde kullanıldığı bir dizi faaliyet olarak tanımlanabilir. Deney değişkenleri olarak da adlandırılan faktörler, deney sonucunu etkileyen ve kontrol edilebilir ya da kontrol edilemez özelliklere sahip olan değişkenlerdir. (Montgomery, 1991)

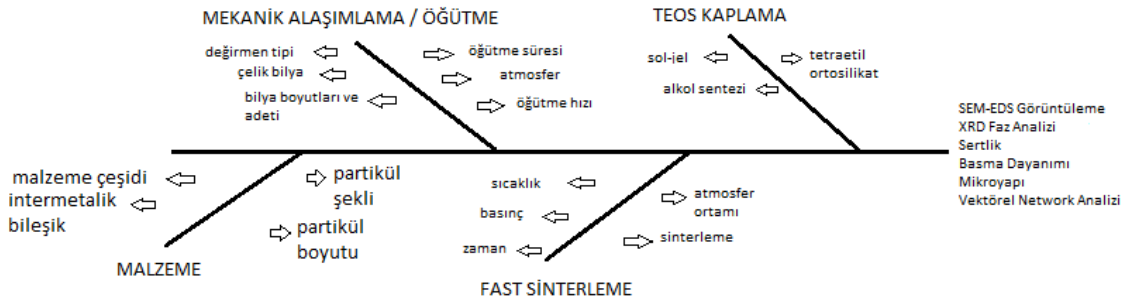
2.1.1.Taguchi Deney Tasarım Metodu

Taguchi yöntemi, tüm kombinasyonların gerçekleştirilmesi gereken tam faktöriyel deney tasarımına kıyasla, ortogonal dizilerin kullanımıyla kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini minimize etmeyi hedefleyen bir deney tasarım tekniğidir. Bu yöntemde, faktör seviyelerinin belirlenmesi için farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır (Taguchi ve Yokoyama, 1993).

Taguchi deney tasarım yöntemi belirli aşamalardan oluşur. İlk aşama olan planlama sürecinde, problemler tanımlanır ve faktörler ile seviyeleri belirlenir.

Görsel 4. Çalışmanın Deney Tasarımı

Yapılacak deneyler üzerine etki edebilecek parametreler Şekil 2'deki balık kılıçığı diyagramında gösterildiği gibi belirlenmiştir. Bu çalışmada 3 faktör üzerinde çalışılmıştır.



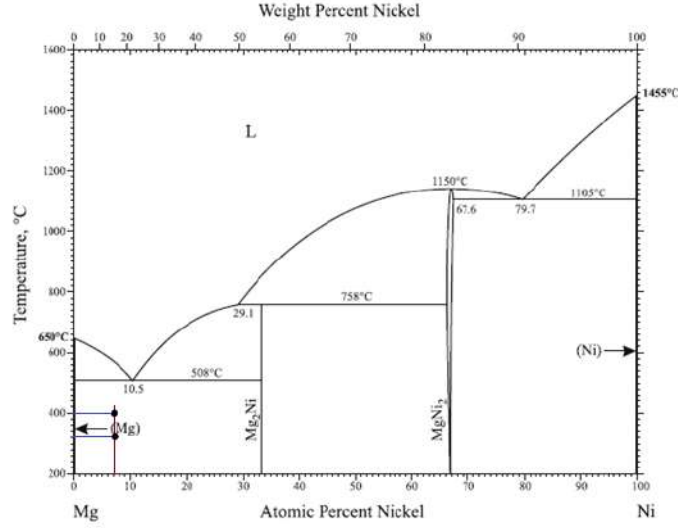
Bunlar; tetraetil ortosilikat kaplaması, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresidir

2.2.MALZEME

Bu çalışmada, magnezyum ve nikel olmak üzere iki farklı türde toz malzeme kullanılmıştır.

2.3.Mg-Ni Faz Diyagramı

Mg-Ni faz diyagramı göz önünde bulundurulduğunda, ötektik dönüşüm sıcaklığı altında yapılan bu tez çalışmasında, $\alpha + \text{Mg}_2\text{Ni}$ fazının yer aldığı bölgeye odaklanılmıştır.



Diyagram 1.
Diyagramı
Medraj,2005)

Mg-Ni Faz
(Islam ve

2.4.NUMUNE ÜRETİMİ

2.4.1.Mekanik Öğütme / Alaşımlandırma

Magnezyum ve nikel tozlarının mekanik alaşımlama işlemi, Ser-Mak marka çalkalayıcı değirmen (Şekil 3) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Öğütme işlemi, toz: bilye oranı kütlece 1:10 olacak şekilde, 10 mm çapında paslanmaz çelik bilyalar ve çelik kavanozlar (140 mm iç çap, 70 mm yükseklik) kullanılarak yapılmıştır. Soğuk kaynak oluşumunu önlemek ve yağlayıcı etkisi sağlamak için %1 oranında çinko stearat eklenmiştir.



Görsel
Mak



5.Ser-
Marka

Gezegen Tipi Değirmen

Alaşımlama işlemi, argon atmosferi altında, bir Glove Box içerisinde yürütülerek tozların oksijenle temas riski en aza indirilmiştir. Değirmen 400 rpm hızda çalıştırılmış ve işlem, 20 dakikalık çalışma ile 10 dakikalık dinlenme döngüleriyle toplam 40 dakika sürdürülmüştür (bekleme süreleri dahil edilmemiştir). İşlemlerde 93 g magnezyum ve 7 g nikel tozu kullanılmıştır.



Görsel 6. Atmosfer (argon) Ortamı için Kullanılan Glove – Box

2.4.2. Sol-Jel Yöntemiyle TEOS Sentezleme ve Kaplama

Kaplama işlemi için, kimyasal formülü $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ olan tetraetil ortosilikat (TEOS) tercih edilmiştir (Şekil 5). TEOS, sol-jel yöntemi kullanılarak etil alkol ile sentezlenmiştir. Bu sentez sırasında TEOS/alkol oranı 1:2 olarak belirlenmiştir.

Görsel 7. 250 ml'lik Tetraetil Ortosilikat

100 g MgNi alaşımlı toza 10 ml TEOS içeren 30 ml sol-jel karışımı eklenmiş, karışım argon atmosferinde 5 ml'lik partlar halinde toza pastör pipeti ile ilave edilerek 2 dakika değirmen sistemiyle kaplanmıştır. Kaplama sonrası tozlar glove-box içinde kurutularak analiz için hazırlanmıştır. TEOS ile kaplanmış ve kaplamasız olmak üzere iki farklı toz grubu hazırlanmış, XRD analizi ile kristal yapısal farklılıklar ve kaplamanın etkileri değerlendirilmiştir.



2.4.3. Elektrik Alanı Destekli Sinterleme Tekniği (FAST)

Elektrik alan destekli sinterleme (Field Assisted Sintering Technique, FAST) yöntemi kullanılarak, elde edilmiş TEOS kaplanmış alaşım tozu, grafit kalıp içerisinde sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi, Tugem marka HP15 3000 sıcak pres cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 6).



Görsel 8. Tugem marka HP15 3000 sıcak pres cihazı ve numune yerleşimi

Sıcak pres cihazı, darbeli alternatif akım ve su soğutmalı elektrotlarla düşük enerji tüketimi ve güvenli sinterleme sağlar. 0.6 bar vakum altında ve argon atmosferinde, 35 MPa piston basıncıyla sinterleme yapılmıştır. Sıcaklık 300°C veya 400°C olarak belirlenmiş; süreler 7 ve 15 dakika uygulanmıştır. İlk 2 dakikada hedef sıcaklığa ulaşılmış, ardından sinterleme devam etmiş ve soğutma kontrollü şekilde hava ortamında gerçekleştirilmiştir.

2.4.3.1. Sinterleme İşlemi Yardımcı Elemanları

Sinterleme işlemi, yüksek sıcaklık dayanımına ve düşük termal genleşme katsayısına sahip grafit kalıplar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kalıp boyutları; iç çap 20 mm, dış çap 60 mm ve yükseklik 50 mm olarak belirlenmiş, sıkıştırma işlemi için ise 20 mm çapında, 20 mm yüksekliğinde iki punch kullanılmıştır. (Şekil 7)



Görsel 9. Sinterleme İşleminde Kullanılan Grafit Kalıp ve Punchlar

Sinterleme öncesinde, tozların kalıptan kolayca çıkarılmasını sağlamak ve yüzey kalitesini artırmak amacıyla, punch ve kalıp yüzeylerine 1:20 oranında alkol ile seyreltilmiş çinko stearat uygulanmıştır. Bu işlem, sürtünmeyi azaltarak yüzey aşınmasını önlemiş ve işlem verimliliğini artırmıştır.

2.5.Yoğunluk Ölçümü

Sinterleme işlemi sonrasında elde edilen numunelerin yoğunluk ölçümleri, Arşimet ilkesi temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sırasında, numunelerin hacimlerinin belirlenmesinde daldırma sıvısı olarak su kullanılmıştır. Numunelerin hacmi Arşimet ilkesiyle hesaplandıktan sonra, yoğunluk değerleri Denklem 1 kullanılarak belirlenmiştir.

$$\rho_{\text{numune}} = \frac{m_{\text{hava}}}{V_{\text{numune}}}$$

- ρ_{numune} : Numunenin yoğunluğu (g/cm^3 veya kg/m^3)
- m_{hava} : Numunenin havadaki kütlesi
- V_{numune} : Arşimet İlkesi'nden hesaplanan numune hacmi

Denklem 1. Arşimet Yoğunluk Formülü

2.6.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDS) Haritalama ve Görüntüleme

SEM cihazı, Mg7Ni alaşımının mikro yapısal ve kimyasal özelliklerini incelemek için 20 kV hızlandırıcı voltaj ile çeşitli büyütme seviyelerinde kullanılmıştır. Yüzeydeki kimyasal değişimlerin ve elementel dağılımların analizinde EDS ünitesi entegre edilmiş ve EDS-haritalama yöntemi ile detaylı kompozisyon haritaları oluşturulmuştur. Bu yöntem, yüzeyin mikro yapısal ve kimyasal karakterizasyonunda yüksek hassasiyet sağlamıştır.



Görsel 10. ZEISS

Gemini SEM 500 cihazı

2.7.X-Işını Difraksiyonu (XRD) Analizi

Bu analiz çalışmasında, tetraetil ortosilikat (TEOS) kaplaması uygulanmış ve uygulanmamış Mg7Ni alaşımından elde edilen öğütülmüş tozların faz yapılarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın temel amacı, TEOS kaplamasının malzemenin kristal yapısına ve faz bileşimlerine olan etkisinin detaylı bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktır.



Görsel 11. XPERT PANALYTICAL marka XRD cihazı

2.8.Basma Dayanımı Testi

Testler sırasında cihaz, 0,2 mm/dk ilerleme hızına ayarlanmıştır. Numunelerin testten önce yüzeyleri, cihazla uyumluluğun sağlanması ve test sonuçlarının doğruluğunun artırılması amacıyla zımparalanmıştır. Basma dayanımı testlerinin sinterlenmiş numunelere uygulanmasının temel nedeni, malzemenin mekanik özelliklerini, özellikle yük altındaki deformasyon ve kırılma davranışını değerlendirmektir. Bu testler, sinterleme ve mekanik alaşımlama gibi üretim süreçlerinin malzeme üzerindeki etkilerini anlamak için kritik öneme sahiptir.



Görsel 12. SHIMADZU Autograph AG-IS marka çekme-basma test cihazı ve numune yerleştirme örneği

2.9.Sertlik Ölçümü

Sertlik ölçümleri, Brinell sertlik skalasında belirlenmiştir. Her numuneden alınan üç ölçümün aritmetik ortalaması alınarak sertlik değeri hesaplanmıştır.

Parametre	Değer
Uygulanan Yük	62,5 kgf
Yükleme Süresi	30 saniye
Kullanılan Uç	Çelik bilya, 10 mm çap
Lens Büyütme Oranı	2,5X
Test Süresi	30 saniye

Çizelge 6. Brinell Sertlik Testinde Numuneye Uygun Olan İşlem Parametreleri

2.10. Vektör Network Analizi (VNA)

Bu çalışmada hazırlanan Mg7Ni numunelerinin S11 ve S21 desibel değerlerini analiz etmek amacıyla Agilent Technologies marka PNA-L – N5230C modelindeki vektör network analiz cihazı kullanılmıştır



Görsel 13. Agilent Technologies marka PNA-L – N5230C modelindeki vektör network analiz cihazı ve numune yerleştirilmesi

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1.Sinter Numunelerinin Yoğunlukları

300-400 °C sıcaklık aralığında 7 ve 15 dk'lık sürelerde sinterlenen TEOS kaplamalı ve kaplamasız numunelerin deneysel yoğunlukları ve gözeneklilik yüzdeleri Tablo 14'te belirtilmiştir. Mg7Ni numunelerin teorik yoğunluğu hesaplanmış ve sabit olarak 2,24 g/cm³ olarak alınmıştır.

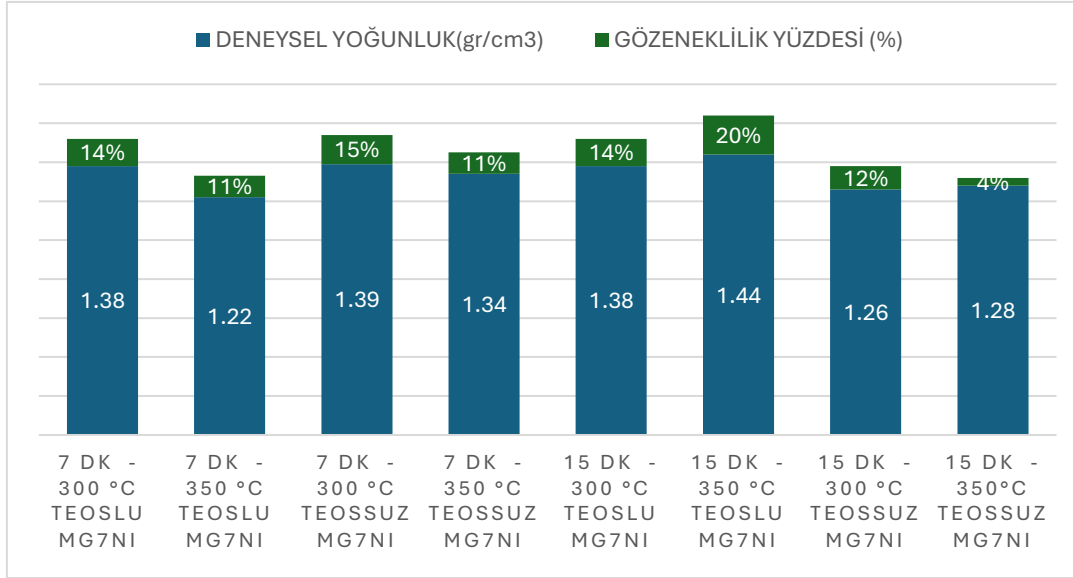
Çizelge 7. Sinterlenen Numunelerin Deneysel Yoğunlukları ve Gözeneklilik Yüzdeleri

NUMUNE PARAMETRESİ	DENEYSEL YOĞUNLUK (gr/cm ³)	GÖZENEKLİLİK YÜZDESİ (%)
7 dk- 300 °C TEOSLU Mg7Ni	1,38	14%
7 dk- 350 °C TEOSLU Mg7Ni	1,22	11%
7 dk- 300 °C TEOSUZ Mg7Ni	1,39	15%
7 dk- 350 °C TEOSUZ Mg7Ni	1,34	11%
15 dk- 300 °C TEOSLU Mg7Ni	1,38	14%
15 dk- 350 °C TEOSLU Mg7Ni	1,44	20%
15 dk- 300 °C TEOSUZ Mg7Ni	1,26	12%
15 dk- 350°C TEOSUZ Mg7Ni	1,28	4%

Sinterleme işlemi sonrasında elde edilen numunelerin yoğunluk değerleri, her iki numunenin yoğunluklarının ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Sinterleme sıcaklığındaki artışın TEOS kaplamalı ve kaplamasız numuneler üzerinde farklı etkiler yarattığı gözlemlenmiştir. Kaplamasız numunelerde artan sıcaklık yoğunlukta artış ve gözeneklilikte azalma ile sonuçlanmıştır. Buna karşın, TEOS kaplamalı numunelerde artan sıcaklık gözenekliliği artırırken yoğunlukta dalgalanmalara neden olmuştur. Bu durum, TEOS kaplamanın yüksek sıcaklıkta malzemenin mikro yapısında farklılaşmalara yol açtığını düşündürmektedir.

Sinterleme süresi artışı, TEOS kaplamalı numunelerde gözenekliliği artırıcı bir etki yaparken, kaplamasız numunelerde gözenekliliği azaltarak yoğunluğu artırıcı bir etki göstermektedir. Bu, sinterleme süresinin malzeme özelliklerini kontrol etmek için kritik bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır.



Grafik 1. Sinterlenmiş numunelerin ortalama yoğunlukları ve gözenek oranları

3.2. Brinell Sertlik Sonuçları

Sertlik ölçümleri, numunelerin yüzeylerinden alınan üç ayrı değer ortalama esas alınarak belirlenmiştir.

NUMUNE ADI	SERTLİK DEĞERİ (HB)
7 dk- 300 °C TEOSSUZ Mg7Ni	17,83
7 dk- 350 °C TEOSLU Mg7Ni	21,95
15 dk- 300 °C TEOSLU Mg7Ni	10,68

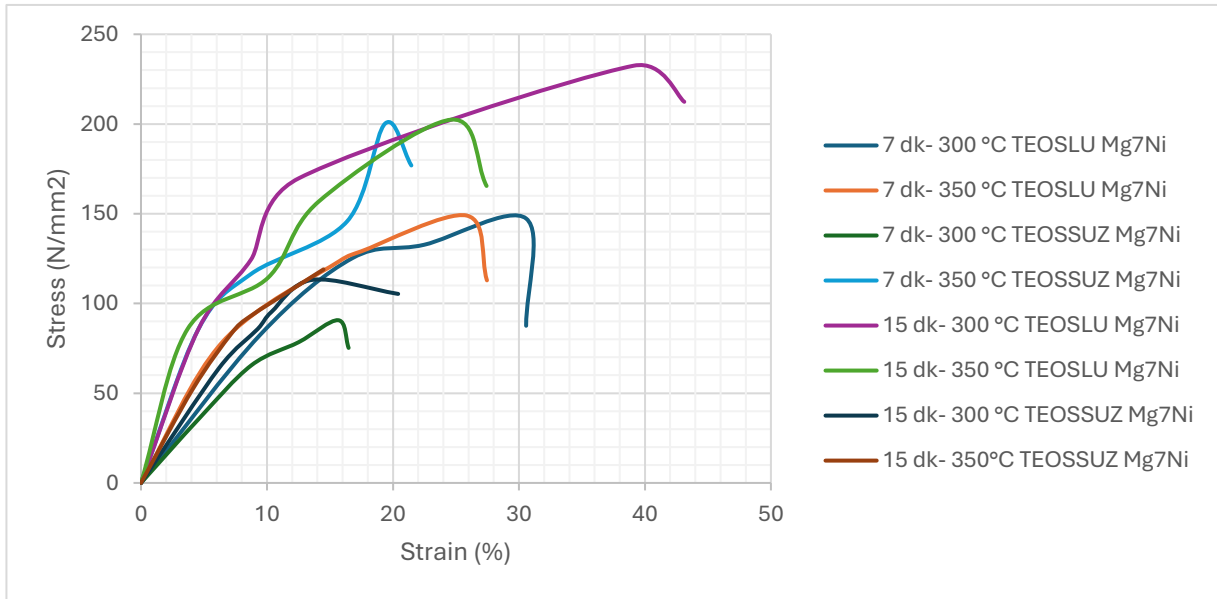
15 dk- 350 °C TEOSLUZ Mg7Ni

x

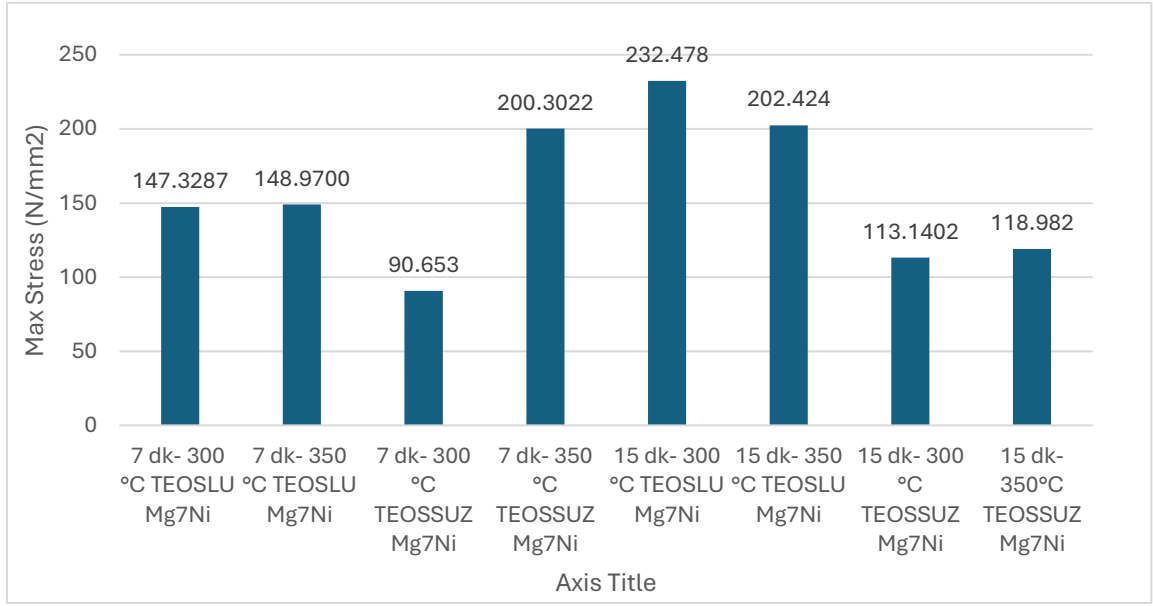
Çizelge 8. Sinter sonrası Mg7Ni numunelerin sertlik değerleri

7 dakika süreyle 350 °C sıcaklıkta TEOS kaplı sinterleme, sertlik açısından en olumlu sonucu vermiştir. Uzun sinterleme sürelerinde sertlikte azalma ve mekanik dayanımda düşüş gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, TEOS kaplama ve uygun sinterleme koşulları, Mg7Ni alaşımlarının performansını artırmada önemli bir parametre olarak değerlendirilebilir.

3.3.Basma Dayanımı Analiz Sonuçları



Grafik 2. Kaplamalı ve kaplamasız Mg7Ni numunelerinin Gerilim-Gerinim Grafiği



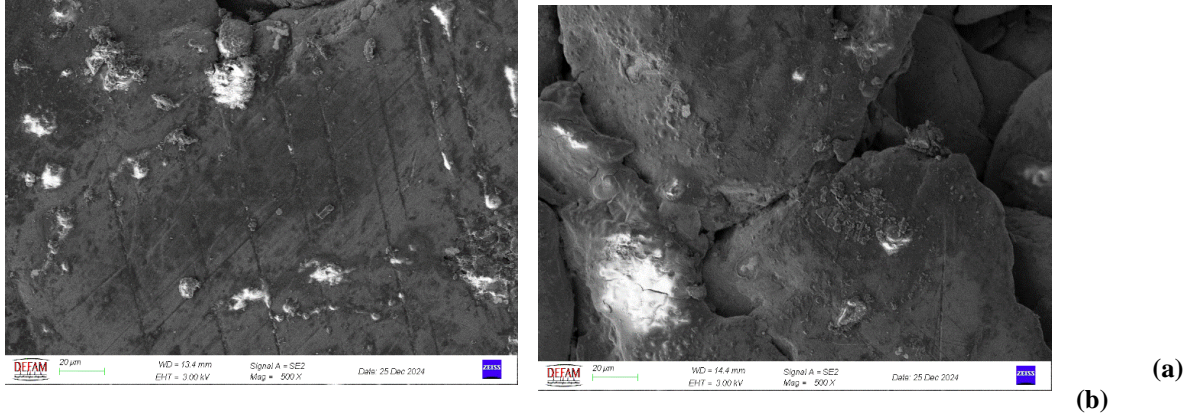
Grafik 3. Maksimum Basma Dayanım Grafiği

Sinterleme süresi, sıcaklık ve TEOS kaplama, numunenin mekanik özelliklerini birlikte etkileyen kritik parametrelerdir.

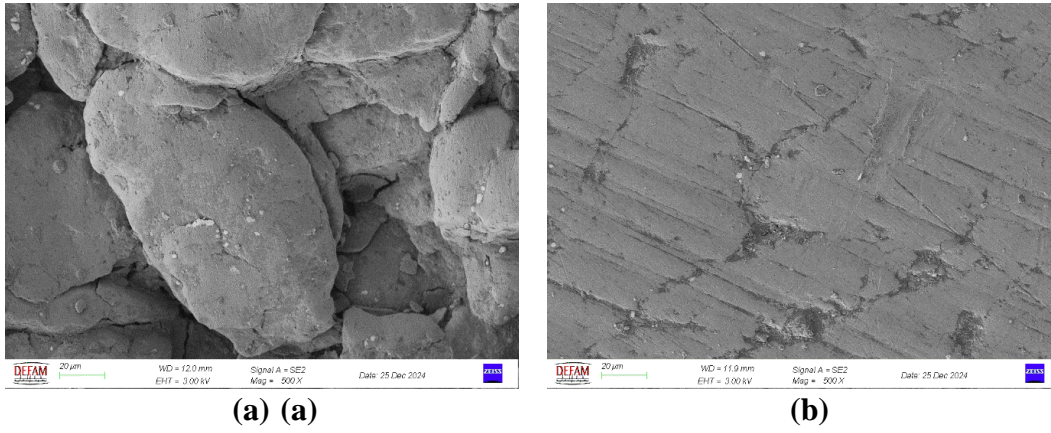
Uzun süre ve yüksek sıcaklık, özellikle TEOS kaplama ile mekanik dayanımı artırmıştır. Elde edilen sonuçlar, 15 dakika süre, 350 °C sıcaklık ve TEOS kaplamanın malzeme performansını optimize etmek için ideal koşullar olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, malzeme performansını uygulama amacına göre optimize etmenin önemini vurgulamaktadır.

3.4.Sinter Numunelerinin SEM Görüntüleri

Mg7Ni alaşımı, 300-350 °C sıcaklık aralığında ve 7 ile 15 dakika olmak üzere iki farklı sinterleme süresinde işleme tabi tutulmuştur. İncelenen numuneler TEOS kaplamalı ve kaplamasız olmak üzere iki gruba ayrılmıştır

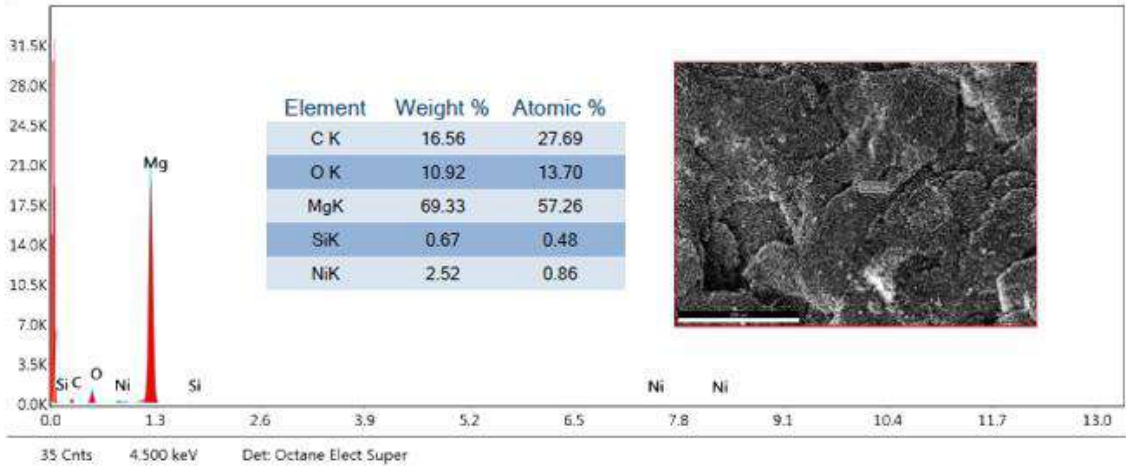


Görsel 14. TEOS Kaplamalı Mg7Ni numunesinin 500X SEM Görüntüsü (a) 300-350 °C sıcaklık aralığında ve 7 dakika boyunca sinterleme (b) 300-350 °C sıcaklık aralığında ve 15 dakika boyunca sinterleme

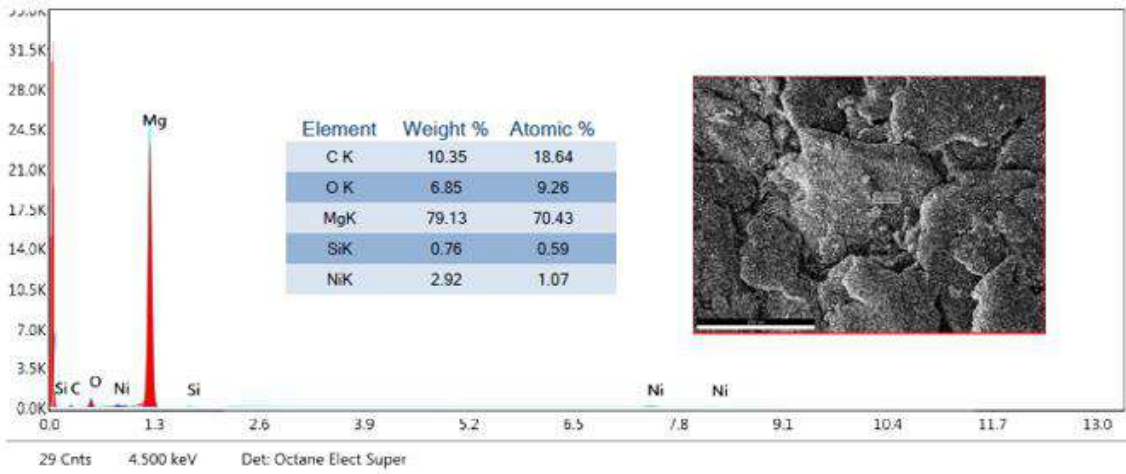


Görsel 15. TEOS Kaplamasız Mg7Ni numunesinin 500X SEM Görüntüsü (a) 300-350 °C sıcaklık aralığında ve 7 dakika boyunca sinterleme (b) 300-350 °C sıcaklık aralığında ve 15 dakika boyunca sinterleme

3.5.Sinter Numunelerinin EDS Analizleri

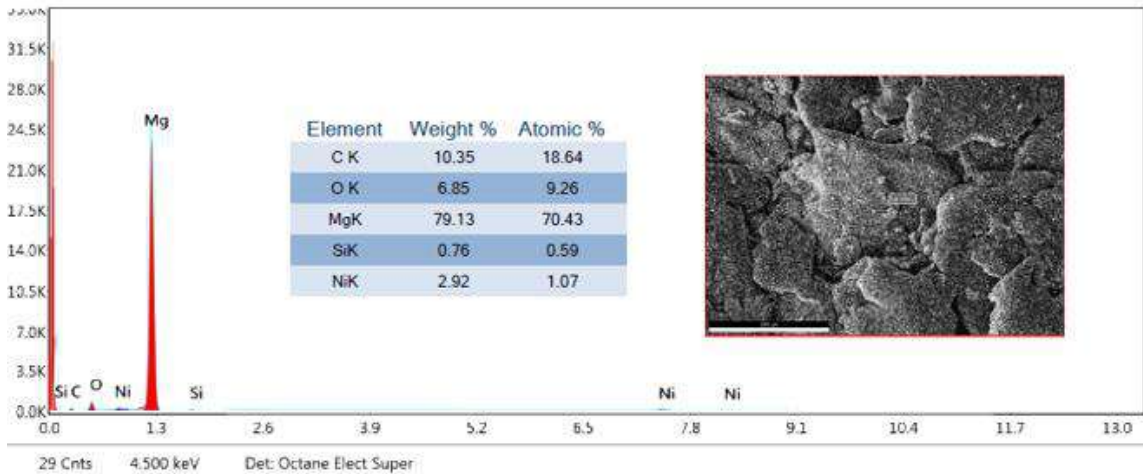


(a)

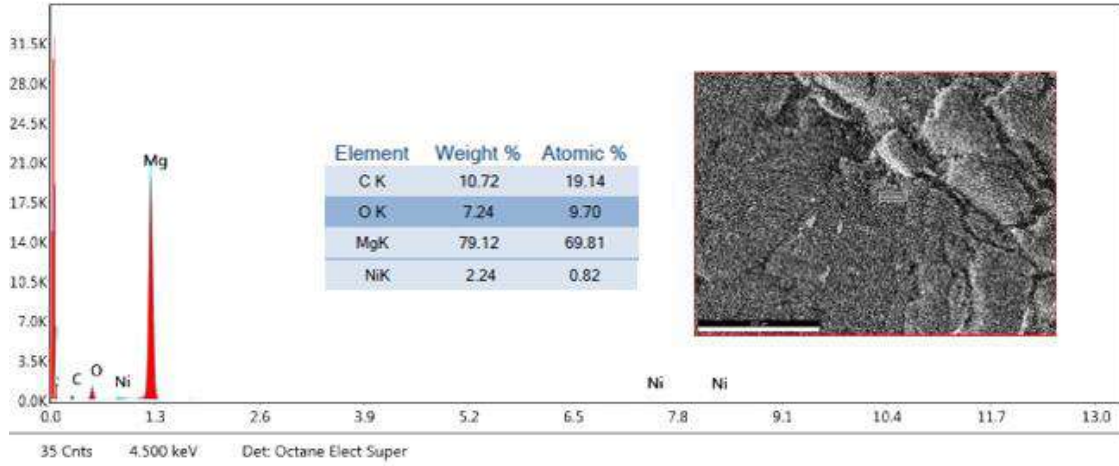


(b)

Görsel 16. TEOS Kaplamalı Mg7Ni numunesinin EDS Analizi (a) 300-350 °C sıcaklık aralığında ve 7 dakika boyunca sinterleme (b) 300-350 °C sıcaklık aralığında ve 15 dakika boyunca sinterleme



(a)



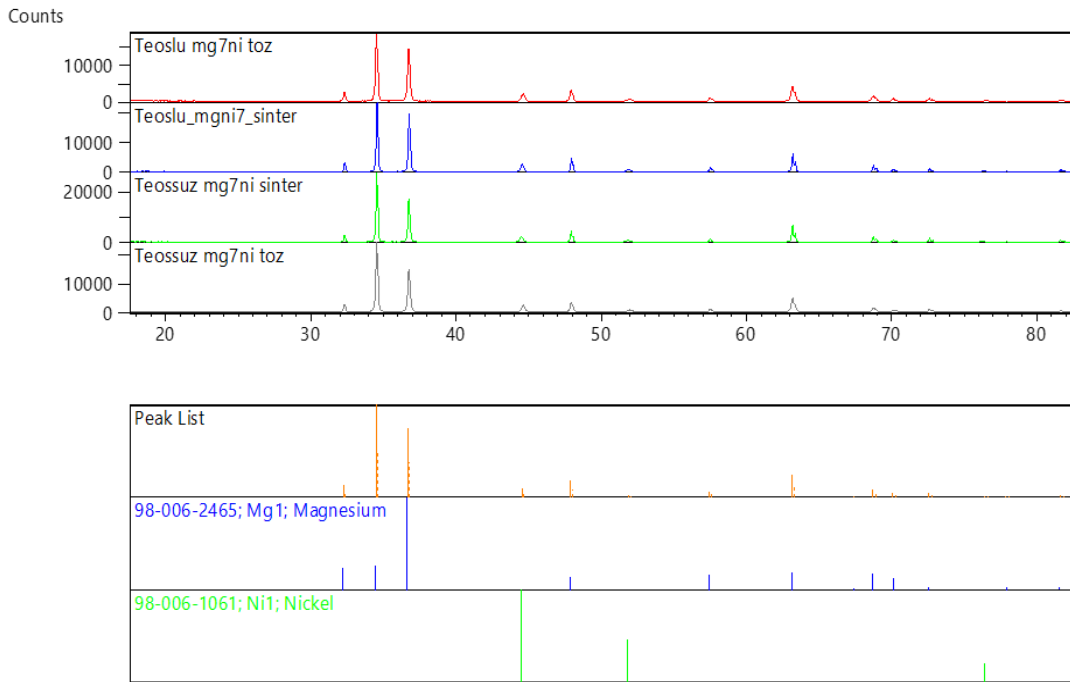
(b)

Görsel 17. TEOS Kaplamasız Mg₇Ni numunesinin EDS Analizi (a) 300-350 °C sıcaklık aralığında ve 7 dakika boyunca sinterleme (b) 300-350 °C sıcaklık aralığında ve 15 dakika boyunca sinterleme

3.6.Sinterleme Öncesi ve Sonrası Numunenin XRD Analizi

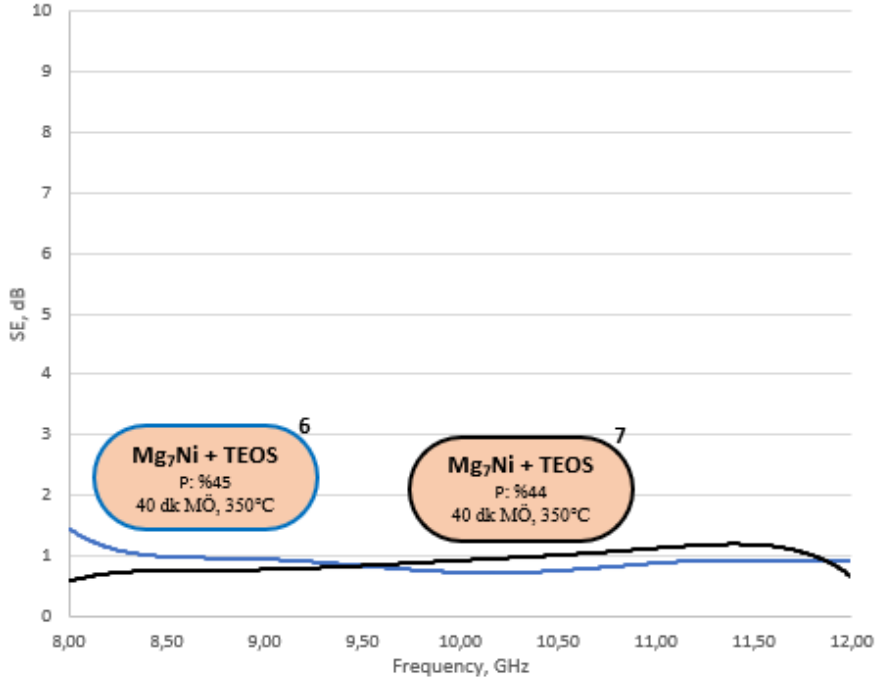
40 dakika öğütülen tozlar, TEOS kaplamalı ve kaplamasız olarak iki gruba ayrılmıştır. 300–350°C aralığında 9 dakika sinterlenen numunelerin XRD sonuçları Grafik 4’te kaplamalı ve kaplamasız olarak karşılaştırılmıştır.

Grafik 4. Mg₇Ni Toz ve Sinter Numunelerinin XRD Analiz Sonuçları

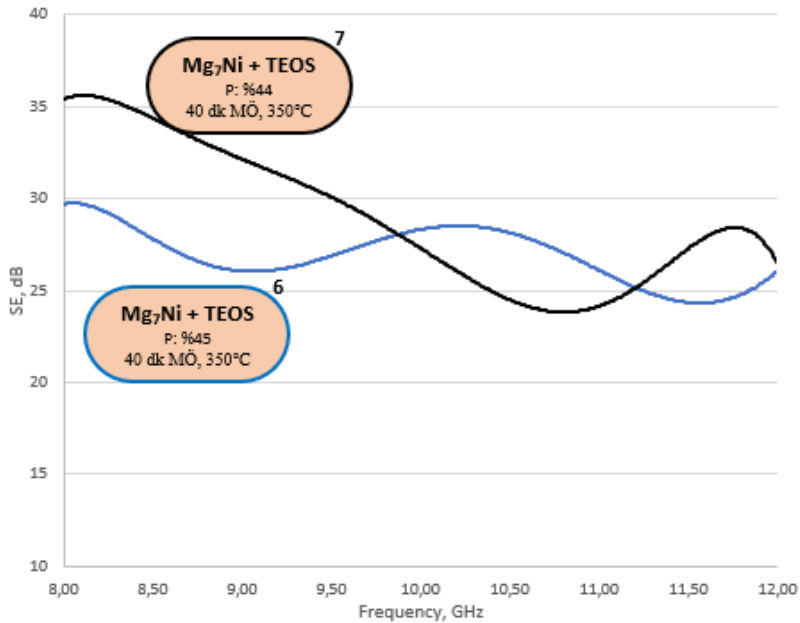


3.7.Vektör Network Analizi

Mg₇Ni numunesi, TEOS kaplamalı olarak 40 dk öğütülmüş, 300–350°C sıcaklık aralığında 9 dakika süreyle sinterlenmiş ve elektromanyetik özellikleri ölçülmüştür. Sinterlenen numunenin S11 ve S21 desibel parametreleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.



Grafik 5. Mg₇Ni + TEOS – 40 dk öğütülmüş / 9 dk sinterlenmiş numunenin Yansıma Etkinliği Analizi



Grafik 6. Mg₇Ni + TEOS – 40 dk öğütülmüş / 9 dk sinterlenmiş numunenin Absorpsiyon Etkinliği Analizi

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Sinterleme parametreleri, TEOS kaplamalı ve kaplamasız numuneler üzerinde farklı etkiler göstermiştir. Kaplamasız numunelerde artan sıcaklık ve süre yoğunluğu artırırken, TEOS kaplamalı numunelerde gözeneklilik artışı ve yoğunluk dalgalanmaları gözlenmiştir. Bu durum, TEOS kaplamanın mikroyapıyı ve malzeme özelliklerini belirgin şekilde etkilediğini göstermektedir. Sertlik sonuçları, TEOS kaplamanın ve optimum sinterleme parametrelerinin seçiminin Mg7Ni alaşımlarının mekanik özelliklerini iyileştirmede kritik rol oynadığını göstermektedir.

Bu çalışmada sinterleme süresi, sıcaklık ve TEOS kaplamanın mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, 15 dakika, 350°C ve TEOS kaplamanın malzeme performansını artırmada etkili olduğunu göstermiştir. Bulgular, işlem koşullarının kullanım amacına göre optimize edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Bu çalışmada sinterleme koşulları ve TEOS kaplamanın Mg7Ni malzemesinin mikroyapısal ve mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Optimum koşullar, homojen ve yüksek performanslı bir mikroyapı sağlamış, kritik parametrelerin önemini ortaya koymuştur.

SEM görüntüsünde dikkat çektiği üzere, numuneye uygulanan tetraetil ortosilikat (TEOS) kaplamasının varlığı, görüntüleme sırasında oluşturduğu yansıma ve parlaklık ile açıkça gözlemlenebilmektedir.

Şekil 14(a)'daki elementlerin ağırlık oranları %69,33 Mg, %2,52 Ni ve %0,67 Si ve çevresel etkenlerden kaynaklanan karbon ve oksijen tespit edilmiştir.

Şekil 14(b)'deki elementlerin ağırlık oranları ise %79,13 Mg, %2,92 Ni ve %0,76 Si ve çevresel etkenlerden kaynaklanan karbon ve oksijen tespit edilmiştir.

Şekil 15(a)'daki elementlerin ağırlık oranları %79,12 Mg, %2,24 Ni ve çevresel etkenlerden kaynaklanan karbon ve oksijen tespit edilmiştir.

Şekil 15(b)'deki elementlerin ağırlık oranları ise %75,97 Mg, %2,54 Ni ve çevresel etkenlerden kaynaklanan karbon ve oksijen tespit edilmiştir.

SEM Görüntüleme ve EDS analizleri incelendiğinde SEM görüntülerinin karşılaştırmalı analizinde, 7 ve 15 dakika olmak üzere farklı sürelerde sinterlenen TEOS kaplamalı Mg7Ni numunelerinde önemli mikroyapısal farklılıklar gözlenmiştir.

XRD analizleri, numunelerin yüksek kristallinite ve saflığa sahip olduğunu doğrulamıştır. Pik pozisyonlarının korunması, yapıdaki fazların değişmediğini; Mg2Ni fazına ait piklerin gözlemlenmesi ise hedef fazın başarıyla sentezlendiğini göstermektedir. Bu bulgular, Mg-Ni alaşım sisteminin başarılı bir şekilde oluşturulduğunu ortaya koymaktadır.

Elde edilen VNA sonuçları, üretilen malzemelerin elektromanyetik kalkanlama uygulamaları için yüksek potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

- C. Mallon, 1984, Process for The Preparation of Alkyl Silicates, US Patent 4,487,949.
- C. W. Hennessey, W. F. Caley, G. J. Kipouros and D. P. Bishop, Int'l J. Powder Metallurgy, 41 (2005), 50–63.
- G. J. Kipouros, W. F. Caley and D. P. Bishop, Met. Mat. Trans. A, 37A (12) (2006), 3429–3436.
- Hassan, S.F., Gupta, M., 2002a. Development of a novel magnesium/nickel composite with improved mechanical properties. Journal of alloys and compounds, 335(1-2), L10-L15.
- Hassan, S.F., Gupta, M., 2002b. Development of high strength magnesium-based composites using elemental nickel particulates as reinforcement. Journal of Materials Science, 37(12), 2467-2474.
- Koch, C. and Segev, I. (1998) Methods in Neuronal Modeling: From Ions to Networks. 2nd Edition, MIT Press, Cambridge.
- López, A.J., Otero, E., Rams, J. Sol-gel silica coatings on ZE41 magnesium alloy for corrosion protection. Surface & Coatings Technology 205 (2010) 2375–2385
- Montgomery, D. C., “Design and Analysis of Experiments”, (3rd Ed.), John Wiley Sons, 649 s., 1991.
- Taguchi, G. ve Yokoyama, Y., 1993, Taguchi Methods: Design of Experiments, ASI Press, USA, 330 pp.

Poliol Yöntemi ile Metalik Bakır Nano tozların Sentezi

Doktora Öğrencisi, Aydan ZEYNALOVA

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi,

zaynalovaaydan@gmail.com, ORCID ID:0009-0004-0963-6176-

Doç. Dr. Kürşad Oğuz OSKAY

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi,

koskay@cumhuriyet.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4026-867X

ÖZET

Bu çalışmada, etilen glikol (EG) kullanılarak poliol yöntemi ile metalik bakır nanoparçacıklarının sentezi gerçekleştirilmiştir. İndirgeme ajan olarak sodyum hipofosfit (SHP) kullanılmıştır. Stabilizatör olarak polivinilpirolidon (PVP) tercih edilmiştir. Hücre içerisine argon gazı besleyerek ve argon gazı beslemeden deneyler yapılmıştır. Argon gazı kullanılarak yapılan deneylerde oluşan nanopartikül dağılımının homojen olduğu görülmüştür. Reaksiyon süresinin belirlenmesi için 3 ila 45 dakika aralığında denemeler yapılmış ve SEM sonuçları nano toz oluşumunu doğrulamıştır. Farklı sıcaklıklarda yapılan deneylerde, artan sıcaklıkla birlikte reaksiyon hızının arttığı ve deney süresinin kısaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, yüksek sıcaklıkta reaksiyon daha hızlı gerçekleşmiş, düşük sıcaklıklarda ise daha büyük ve homojen boyutlu bakır parçacıkları elde edilmiştir. Sentezlenen nanoparçacıklar, yıkama, santrifüjleme ve kurutma işlemlerine tabi tutulmuş, ardından XRD ve SEM analizleri ile yapısal ve morfolojik olarak karakterizasyonları incelenmiştir. Yapılan XRD analizleri sonucunda, oksit içermeyen bakır nano tozların da üretildiği belirlenmiştir. Reaksiyon süresi, sıcaklık, parçacık boyutu ve morfolojisi üzerindeki etkisi SEM görüntüleri ile tartışılmıştır. Bununla birlikte, su bazlı ve etilen glikol bazlı sistemlerin karşılaştırıldığı deneylerde, etilen glikol bazlı yöntemin daha düşük oksitlenme ve daha iyi stabilizasyon sağladığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, poliol yönteminin çeşitli koşullarda etkili olduğunu ve sentez parametrelerinin kontrolü ile istenen özellikte nanoparçacıklar üretilebileceğini göstermektedir. Elde edilen bulgular incelendiğinde, 1M sodyum hipofosfit (SHP) kullanılarak yapılan reaksiyonlarda 7 dakikada en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Poliol yöntemi, bakır nanoparçacıkları, Sodyum hipofosfit (SHP),

Giriş

Son yirmi yılda, metal nanoparçacıkların özelliklerini ve potansiyel uygulamalarını keşfetmeye yönelik, yapılan araştırmalar bu materyallerin sentezlenmesine yönelik çalışmaları duyulan ilgiyi arttırmıştır bu materyallerin özelliklerini ve potansiyel uygulamalarını keşfetme amacıyla gelişmiştir [1], [2], [3]. Çeşitli metal nanoparçacıklar arasında bakır nanoparçacıkları, katalitik, optik ve elektriksel iletkenlik özellikleri nedeniyle büyük ilgi çekmiştir [4], [5], [6], Bakır nanoparçacıkları esnek elektronik uygulamalarında kullanımı artmaktadır.

Metal nano tozlar, özellikle polimerik esnek elektronik devre kartlarında iletken yolların serigrafı ya da mürekkep püskürtmeli baskı yöntemleriyle desenlendiği pasta veya mürekkep hazırlamak için temel bileşen olarak kullanılmaktadır. Nanomalzemelerin sinterlenme sıcaklığı bulk halindeki malzemelere kıyasla önemli ölçüde düşürülebilir [7]. Böylece metal nano tozlar düşük sıcaklıklarda sinterlenerek baskılı elektroniklerde kullanılmak için uygun hale getirilir., metal nano tozların düşük dirençli iletken filmler oluşturmak üzere düşük sıcaklıklarda tavlanaabilecek baskılı elektroniklerde kullanılmak için potansiyel olarak uygun hale getirir.

Günümüzde, maliyetli olmalarına rağmen elektronik sanayinde genellikle altın ve gümüş gibi değerli metaller kullanılmaktadır. Bu bağlamda, bakır, yüksek iletkenliği ve altın (Au) ile gümüş (Ag) kıyasla çok daha ekonomik olması nedeniyle iyi bir alternatif malzeme olarak öne çıkmaktadır. Bakır nanoparçacıklarının hazırlanması için termal Bakır nanoparçacıklarının hazırlanması için termal indirgeme[8], sono-kimyasal indirgeme[8], [9] kimyasal indirgeme [6], fiziksel buhar biriktirme[10], mikro emülsiyon teknikleri [12], [13], [14] ve lazer ablasyonu gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiştir[15].

Yukarıda belirtilen yöntemlerin çoğu, bakırın kolayca oksitlenmesi nedeniyle, bakırın sentezi için oksijensiz bir ortam kullanılmaktadır. Lisiecki ve arkadaşları[16], sodyum dodesil sülfatı kaplama molekülü olarak kullanarak bakır nanoparçacıklarını sulu bir çözeltide hazırlamış ve partiküllerin oksidasyonunu önlemek için bir glove box kullanmışlardır. Joshi ve arkadaşları ile Wu ve arkadaşları ise, bağımsız olarak, nitrojen atmosferi altında sulu bir sistemde bakır nanoparçacıklarının sentezini rapor etmişlerdir[9], [17].

Bakır nano tozların (CuNP) sentez yöntemleri arasında yer alan polioli yöntemi, polimerik bir yüzey aktif madde ve uygun bir tuzun katkısıyla gerçekleştirilen kimyasal indirgeme esasına dayanan bir yöntemdir. Bu yöntem, basit ve ekonomik olmasıyla birlikte, nispeten yüksek verim sağlamasıyla dikkat çekmektedir. Polioli yönteminde, bir polioli çözücü, polimerik kaplama ajanı ve metal kaynağı olarak kullanılan metal tuzu eklenerek ve birlikte ısıtılarak metal nanoyapılar sentezlenebilmektedir. Bu işlem, polimerik bir kaplama ajanı varlığında bakır iyonlarının kimyasal olarak indirgenmesiyle ilerler. EG hem çözücü hem de indirgeme ajanı olarak işlev görür. Bu çalışmada, modifiye edilmiş bir polioli işlemi kullanılarak, oksit içermeyen bakır nanoparçacıklar sentezlenmiştir. Polioli yöntemi, basit uygulanabilirliği, yüksek verimliliği ve düşük maliyetli oluşu nedeniyle öne çıkan bir yöntem olarak değerlendirilmektedir[22].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Bakır Nanopartiküllerin Sentezi

Polivinilpirolidon (PVP, K-30), sodyum hipofosfit monohidrat ($\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), bakır sülfat pentahidrat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), etilen glikol ve ethanol analitik saflıktadır ve herhangi bir ek saflaştırma yapılmadan kullanılmıştır.

Bakır nanoparçacıkların sentezinde, su ve etilen glikol kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Poliol yönteminde, etilen glikol gibi bir polioliol sıvısı hem reaksiyon ortamı sağlar hem de indirgeme ajanı olarak görev yapar.[25]. İndirgeme ajanı olarak 1M $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (sodyum hipofosfit) kullanılmış, bakır sülfat pentahidrat 1M ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), çözeltisi 10 ml etilen glikol (EG, $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$) içinde çözülerek hazırlanmış ve stabilizatör olarak polivinilpirolidon (PVP K30, Mw 55.000) eklenmiş; toplamda 40 ml etilen glikol kullanılmıştır.

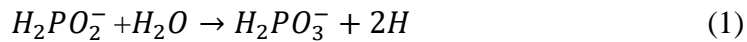
Çalışmada, 45 ml etilen glikol ile su kullanılarak 1M hipofosfit çözeltisi hazırlanmış ve stabilizatör olarak 12.61 g polivinilpirolidon (PVP K30) eklenmiştir. Elde edilen çözelti 350 rpm hızında karıştırılarak homojen hale getirilmiş, ardından 90°C 'ye kadar ısıtılmıştır. Bu işlem, nanoparçacık sentezinde hipofosfitin indirgeme ajanı olarak etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Reaksiyon süresi yaklaşık 10 dakika olarak belirlenmiş ve çözelti rengindeki değişikliklerle reaksiyonun ilerlemesi gözlemlenmiştir. İlk 1-2 dakika içinde, nanoparçacık oluşumunu doğrulayan başlangıç renk değişimi gözlemlenmiştir. Bu renk değişimleri, reaksiyonun ilerlediğini gözlemlememize yardımcı olmuştur ve nano toz oluşumunu SEM ve XRD sonuçları ile doğrulanmıştır

Etilen glikol kullanılarak yapılan deneylerde reaksiyon süresinin belirlenmesi amacıyla 3 ila 45 dakika arasında değişen sürelerde deneyler gerçekleştirilmiştir. Nano toz üretim sürecinde reaksiyon sırasında gözlenen renk değişimi (maviden yeşile, ardından kahverengiye) gözlemlenmiştir ve literatür ile benzer sonuçlar elde edilmiştir[26].

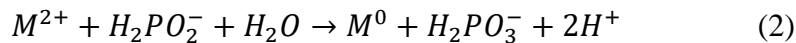
Reaksiyon tamamlandıktan sonra, nanoparçacıkları stabilize etmek, reaksiyonu sonlandırmak ve yan reaksiyonları engellemek için çözeltiye yaklaşık 15-20 ml soğuk su eklenmiştir. Elde edilen süspansiyon, nanoparçacıkları ayırmak için 10000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Toplanan nanoparçacıklarda, yıkama işlemi için iki kez etanol ve bir kez su ile yıkanmıştır. Son olarak, örnekler vakum altında 60°C 'de 1 saat kurutulmuştur.

$\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, bakır partiküllerinin üretiminde sıklıkla kullanılan bir sulu kimyasal indirgeme ajanıdır ve aşağıdaki denklemlerle ifade edilen reaksiyonlar nano toz üretim sürecinde meydana gelmektedir.

Hipofosfit iyonları ile metal indirgeme mekanizması çeşitli şemalarla açıklanmıştır[26]. Bazı araştırmacılar, metal iyonlarının, hipofosfitin su ile reaksiyonundan açığa çıkan atomik hidrojen tarafından indirgendiklerini öne sürmüşlerdir: bu süreç Denklem 1'e göre açıklanmaktadır[27].



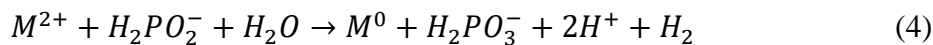
Bu durumda, toplam indirgeme işlemi şu şekilde yazılabilir:



İki hidrojen atomu birleşerek bir hidrojen molekülü oluşturur:



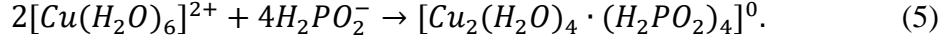
Ancak, deneysel olarak bir M^{2+} katyonunun indirgenmesinin, aşağıdaki denkleme göre iki hipofosfit anyonunun oksitlenmesine karşılık geldiği belirlenmiştir: [26]



Reaksiyon sürecinde meydana gelen renk değişiklikleri, bakır sülfat ve hipofosfit arasında farklı komplekslerin oluşumunu göstermektedir. Bakır sülfat çözeltisi hipofosfit çözeltisine eklendiğinde, mavi bakır sülfat çözeltisi renksiz hale gelir (Aşama I), ardından yeşil

renge döner (Aşama II) ve son olarak kına rengine (Aşama III) dönüştür. İndirgeme mekanizmasının ara adımları şu şekilde tanımlanmıştır:[26]

Aşama I — Renksiz bakır (II) kompleksinin oluşumu:

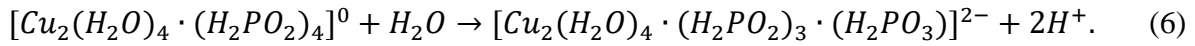


Mavi

Renksiz

Reaksiyonda nötr kompleks ya mononükleer ya da dinükleer oluşabilir. Daha yüksek reaktant konsantrasyonlarında dinükleer kompleks oluşma olasılığı daha yüksektir.[26]

Aşama II — Bakır (II)'nin bakır (I)'e indirgenmesi ve eş zamanlı olarak yeşil bakır(I) kompleksinin oluşumu:

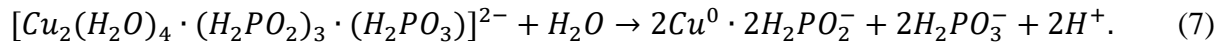


Renksiz

Yeşil

Elde edilen yeşil renk, bakır(I) tuz çözeltilerinin tipik bir özelliğidir. Aşama III, daha ileri bir indirgenme sonucu oldukça dağınık metalik bakırın oluşumuyla sonuçlanır ve bu durum çözeltinin kına rengine dönüşmesine neden olur.[26]

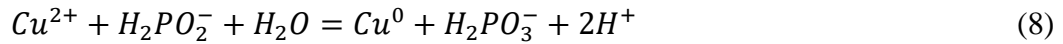
Aşama III — Bakır (I)'in metalik bakır (0)'a indirgenmesi:



Yeşil

Kına rengi

Reaksiyon denklemleri (5) – (7) birleştirilerek aşağıdaki denklem elde edilir:

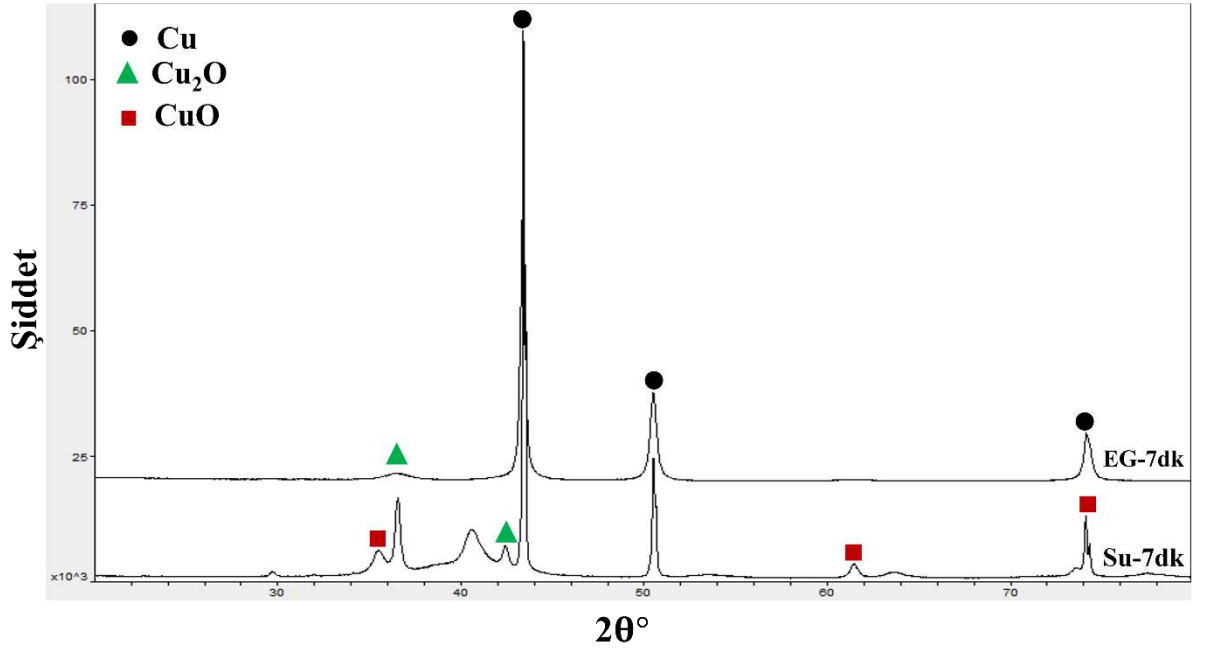


Birleştirilmiş denkleme bakıldığında, hipofosfit anyonunun tüketiminin bakırın indirgenmesiyle doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Denklem (8) ve Le Chatelier prensibine dayanarak öngörülebileceği gibi, reaksiyon sistemine aşırı miktarda hipofosfit eklenmesi, bakır kationunun indirgenme hızını artıracaktır. Ancak, aşırı miktarda hipofosfit kullanımı durumunda, ani hidrojen oluşumu nedeniyle reaksiyon sistemini kararsız hale getirir. Bu nedenle, sentez için kullanılan hipofosfit-bakır mol oranının optimum seviyede gerçekleştirilmesi önemlidir.

2.2. SEM ve XRD analizleri

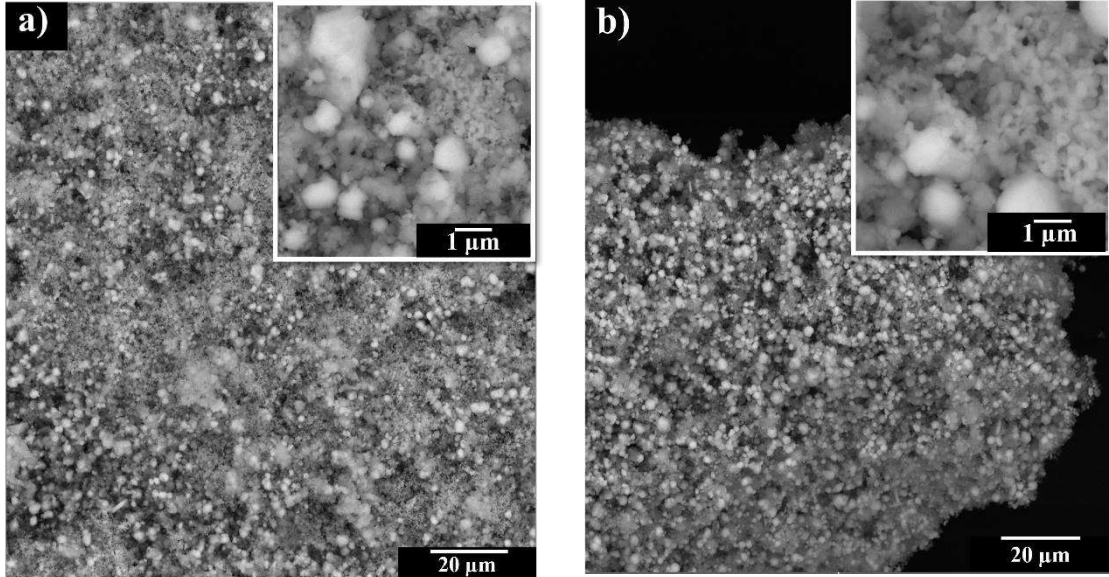
Kına rengindeki süspansiyondan ayrılan bakır nanoparçacıklar, boyut dağılımları ve şekilleri açısından FE-SEM ve XRD yöntemleriyle analiz edilmiştir.

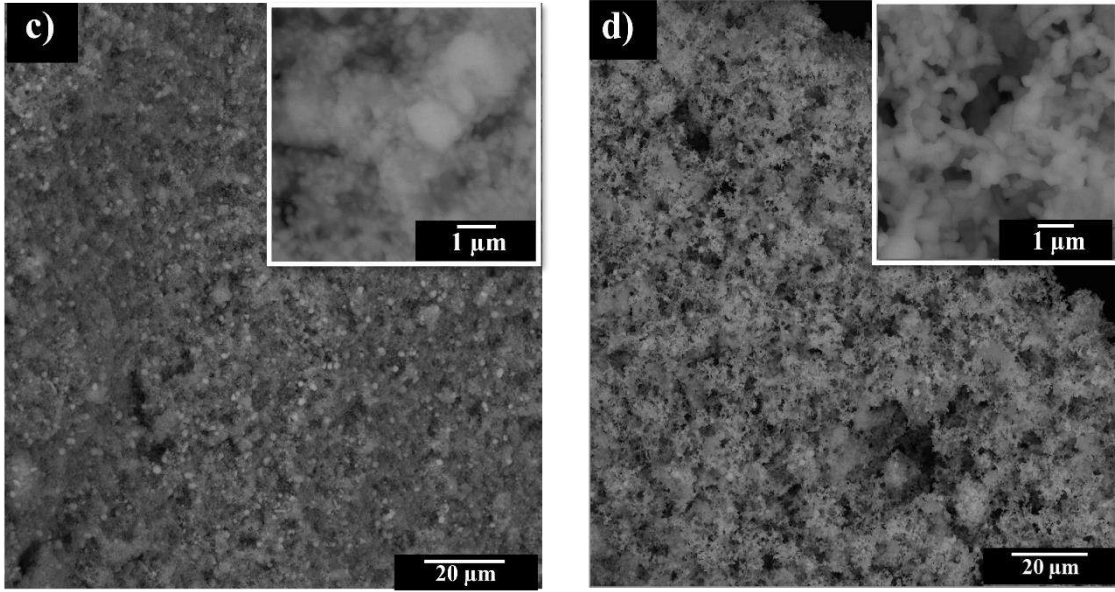
Görsel 1'de, su ve etilen glikol kullanılarak yapılan deneylerin XRD sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Su ile yapılan çalışmada, yalnızca saf bakırın oluşmadığı, aynı zamanda bakır oksit (CuO) ve bakır(I) oksit (Cu₂O) fazlarının da oluştuğu tespit edilmiştir. Bu durum, su kullanılarak yapılan deneylerde oksitlenmiş fazların oluştuğunu göstermiştir. Etilen glikol ile yapılan çalışmalarda ise Cu₂O fazının yalnızca düşük şiddetli bir pik oluşturduğu ve diğer piklerin saf bakır fazını temsil ettiği gözlemlenmiştir. Bu sebeple sonraki çalışmalarda etilen glikol kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.



Görsel 1. EG-7dk ve Su-7dk numunelerinin X-ışını kırınımı (XRD) analizi.

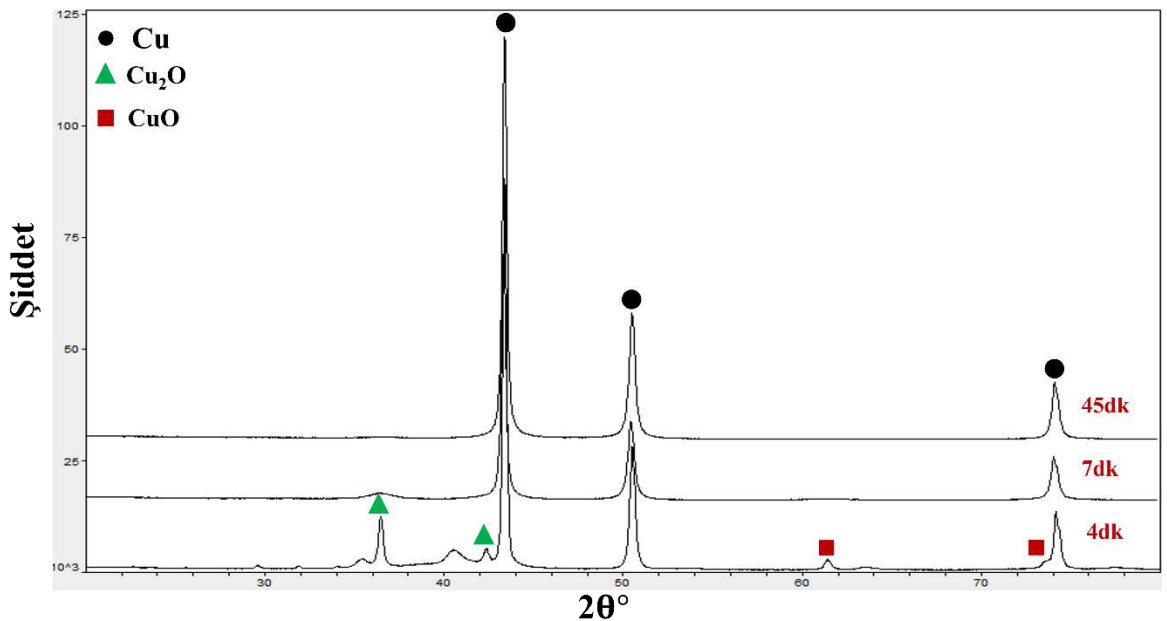
Görsel 2'de farklı sürelerde sentezlenen bakır nanoparçacıklarının SEM görüntülerini göstermektedir. SEM görüntüleri, farklı sürelerde yapılan analizler sonucunda bakır nanoparçacıklarının küresel şekilli aglomere olmuş nano parçacıklardan oluştuğu görülmektedir. Reaksiyon süresi arttıkça, elde edilen parçacıkların boyutu küçülmekte ve boyut dağılımı da daralmaktadır [20]. Bakır nanoparçacıklarının boyutu yaklaşık 500-700 nm arasında homojen yapıda sentezlendiğini göstermektedir.





Görsel 2. Farklı sürelerde bakır nanoparçacıklarının SEM görüntüleri. a) 3dk b) 4dk c) 7dk d) 45dk

Görsel 3'te 4dk,7dk ve 45dk süre ile sentezlenen bakır nanoparçacıklarının X-ışını kırınımı (XRD) analizleri verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde üretilen tozların tamamen saf bakır (Cu) fazında olmadığı ve çeşitli oksitlenmiş fazların mevcut olduğunu ortaya koymaktadır. Deney süresi 4 dakika sürdürülen numunede, bakır oksit (CuO) ve bakır(I) oksit (Cu₂O) fazlarının bulunduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuç, reaksiyon süresinin yetersiz kaldığını ve indirgeme işleminin tamamlanamadığını göstermektedir. Süre arttırılarak 7 dakika sürdürülen numunede Cu₂O fazının şiddetinin çok düşük bir seviyeye indiği, bakır oksit (CuO) piklerinin azaldığı ve saf bakır (Cu) fazının arttığı gözlemlenmiştir. 45 dakikalık numunede ise tamamen saf bakır (Cu) fazının elde edildiği ve oksitlenmiş fazların neredeyse tamamen giderildiği gözlemlenmiştir. Genel olarak, reaksiyon süresi arttıkça saf bakır fazının oluşumunun arttığı ve oksitlenmiş fazların miktarının azaldığı belirlenmiştir.



Görsel 3. Farklı sürelerde bakır nanoparçacıklarının X-ışını kırınımı (XRD) analizi 4dk,7dk ,45dk

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışmalarda su esaslı ve etilen glikol esaslı iki farklı nano toz üretimine yönelik denemeler yapılmıştır. Su esaslı yapılan denemelerde yapıda oksitli fazların varlığı tespit edilmiştir. Etilen glikol ile yapılan çalışmalarda ise oksit içermeyen, metalik bakır nanoparçacık üretilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen optimum koşullar: NaH_2PO_2 : 1M, CuSO_4 :1M, karıştırma hızı:350 rpm, sıcaklık: 90°C, süre: 45 dk. olarak belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] J. H. Fendler, “Atomic and Molecular Clusters in Membrane Mimetic Chemistry.” [Online]. Available: <https://pubs.acs.org/sharingguidelines>
- [2] G. G. Ferrier, A. R. Berzins, and N. M. Davey, “The Production of Palladium Powders for Electronic Applications REACTION CONDITIONS DETERMINE SURFACE CHARACTER.”
- [3] M. Brust and C. J. Kiely, “Some recent advances in nanostructure preparation from gold and silver particles: a short topical review,” 2002. [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/colsurfa
- [4] N. A. Dhas, C. P. Raj, and A. Gedanken, “Synthesis, Characterization, and Properties of Metallic Copper Nanoparticles,” 1998. [Online]. Available: <https://pubs.acs.org/sharingguidelines>
- [5] Z. Liu and Y. Bando, “A novel method for preparing copper nanorods and nanowires,” *Advanced Materials*, vol. 15, no. 4, pp. 303–305, Feb. 2003, doi: 10.1002/adma.200390073.
- [6] H. H. Huang *et al.*, “Synthesis, Characterization, and Nonlinear Optical Properties of Copper Nanoparticles,” 1996. [Online]. Available: <https://pubs.acs.org/sharingguidelines>
- [7] D. Kim, S. Jeong, and J. Moon, “Synthesis of silver nanoparticles using the polyol process and the influence of precursor injection,” *Nanotechnology*, vol. 17, no. 16, pp. 4019–4024, Aug. 2006, doi: 10.1088/0957-4484/17/16/004.
- [8] J. Suárez-Cerda, H. Espinoza-Gómez, G. Alonso-Núñez, I. A. Rivero, Y. Gochi-Ponce, and L. Z. Flores-López, “A green synthesis of copper nanoparticles using native cyclodextrins as stabilizing agents,” *Journal of Saudi Chemical Society*, vol. 21, no. 3, pp. 341–348, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.jscs.2016.10.005.
- [9] R. Vijaya Kumar, Y. Mastai, Y. Diamant, and A. Gedanken, “Sonochemical synthesis of amorphous Cu and nanocrystalline Cu₂O embedded in a polyaniline matrix,” *J Mater Chem*, vol. 11, no. 4, pp. 1209–1213, 2001, doi: 10.1039/b005769j.
- [10] Z. Liu and Y. Bando, “A novel method for preparing copper nanorods and nanowires,” *Advanced Materials*, vol. 15, no. 4, pp. 303–305, Feb. 2003, doi: 10.1002/adma.200390073.
- [11] I. G. Casella", T. R. I. Cataldi, A. Guerrieri, and E. Desimonib, “CHIMICA ACTA Copper dispersed into polyaniline films as an amperometric sensor in alkaline solutions of amino acids and polyhydric compounds,” 1996.
- [12] I. Lisiecki, M. P. Pileni, and C. E. N. Saclay, “Synthesis of Copper Metallic Clusters Using Reverse Micelles as Microreactors,” 1993. [Online]. Available: <https://pubs.acs.org/sharingguidelines>
- [13] A. G. Rinzler *et al.*, “Direct Relationship Between Shape and Size of Template and Synthesis of Copper Metal Particles,” *Chem. Phys. Lett*, vol. 11, no. 16, p. 557, 1999, doi: 10.1002/(SICI)1521-4095(199911)11:16<1358::AID-ADMA1358>3.0.CO;2.
- [14] Qi and al, “NOTE Synthesis of Copper Nanoparticles in Nonionic Water-in-Oil Microemulsions The nonionic surfactant TX-100 [p-tert-C 8 H 17 C 6 H 4 (OC 2 H 4),” 1997.

- [15] M.-S. Yeh, Y.-S. Yang, Y.-P. Lee, H.-F. Lee, Y.-H. Yeh, and C.-S. Yeh, "Formation and Characteristics of Cu Colloids from CuO Powder by Laser Irradiation in 2-Propanol," 1999, doi: 10.1021/jp984163.
- [16] I. Lisiecki, F. Billoudet, M. P. Pileni, and C. E. N. Saclay, "Control of the Shape and the Size of Copper Metallic Particles," 1996. [Online]. Available: <https://pubs.acs.org/sharingguidelines>
- [17] S. H. Wu and D. H. Chen, "Synthesis of high-concentration Cu nanoparticles in aqueous CTAB solutions," *J Colloid Interface Sci*, vol. 273, no. 1, pp. 165–169, May 2004, doi: 10.1016/j.jcis.2004.01.071.
- [18] F. Elsevier, G. Viau, F. F&et-Vincent, and F. Fihet, "Nucleation and growth of bimetallic CoNi and FeNi monodisperse particles prepared in polyols," 1996.
- [19] F. Fievet, F. Fievet-Vincent, J. P. Lagler, B. Dumont, and M. Figlarz, "Controlled nucleation and growth of micrometre-size copper particles prepared by the polyol process," *J Mater Chem*, vol. 3, no. 6, pp. 627–632, 1993, doi: 10.1039/jm9930300627.
- [20] B. K. Park, S. Jeong, D. Kim, J. Moon, S. Lim, and J. S. Kim, "Synthesis and size control of monodisperse copper nanoparticles by polyol method," *J Colloid Interface Sci*, vol. 311, no. 2, pp. 417–424, Jul. 2007, doi: 10.1016/j.jcis.2007.03.039.
- [21] P. Silvert and K. Tekaia-Elhsissen, "c@s _ . __ Synthesis of monodisperse submicronic gold particles by the polyol process," 1995.
- [22] S. Hemmati, "Synthesis and Characterization of Silver Nanowire Suspensions Synthesis and Characterization of Silver Nanowire Suspensions for Printable Conductive Media for Printable Conductive Media." [Online]. Available: <https://scholars.unh.edu/dissertation/2250>
- [23] K. C. Song, S. M. Lee, T. S. Park, and B. S. Lee, "Preparation of colloidal silver nanoparticles by chemical reduction method," 2009.
- [24] J. Jiu, T. Tokuno, M. Nogi, and K. Suganuma, "Synthesis and application of Ag nanowires via a trace salt assisted hydrothermal process," *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 14, no. 7, Jul. 2012, doi: 10.1007/s11051-012-0975-5.
- [25] "6038".
- [26] Y. Lee, J. R. Choi, K. J. Lee, N. E. Stott, and D. Kim, "Large-scale synthesis of copper nanoparticles by chemically controlled reduction for applications of inkjet-printed electronics," *Nanotechnology*, vol. 19, no. 41, Oct. 2008, doi: 10.1088/0957-4484/19/41/415604.
- [27] Y. Lee, J. Choi, K. J. Lee, and N. E. Stott, "Large-scale synthesis of copper nanoparticles by chemically controlled reduction for applications of inkjet-printed electronics," 2008, doi: 10.1088/0957-4484/19/41/415604.

Ni-Im@GO KATALİZÖRLÜĞÜNDE NİTROBENZENİN HİDROJENASYONU

Doç. Dr. Dilek KILINÇ

Harran Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Eczacılık Meslek Bilimleri Bölümü,
Farmasötik Kimya ABD

dkilinc@harran.edu.tr- ORCID ID:0000-0002-0171-2371

ÖZET

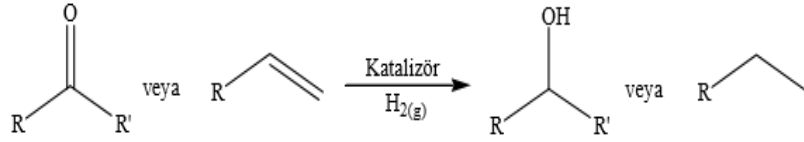
Bu çalışmada, bir Nikel-İmin kompleksi sentezlendi. Sentezlenen bu kompleks Grafen oksit üzerine tutturularak yeni destekli bir metal kompleksi (Ni-Im@GO) elde edildi. Sentezlenen Grafen oksit destekli-Nikel-İmin kompleksinin yapısı farklı spektroskopik ve mikro analiz teknikleri kullanılarak aydınlatıldı. Elde edilen destekli Ni-İmin kompleksi nitroaren bileşiklerinin hidrojenasyon tepkimelerinde katalizör olarak kullanıldı. Tepkimenin ilerleyişi ve dönüşümü gaz kromatografisi kullanılarak açıklandı. Grafen oksit destekli-Nikel kompleks katalizörünün kullanıldığı bu tepkimenin % 100 dönüşümle gerçekleştiği ve Ni-Im@GO katalizörünün bu tepkimede yüksek bir aktivite gösterdiği gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: Ni-İmin, Grafen oksit, Hidrojenasyon

1. GİRİŞ

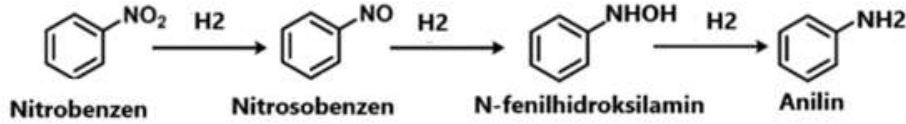
Bir hidrojen kaynağı kullanılarak doymamış bağların indirgenmesi hidrojenasyon reaksiyonu olarak tanımlanır [1]. Hidrojenasyon, çoklu bağlar içeren yapılarda (alkenler, alkinler, nitriller ve ketonlar) oldukça önemli bir reaksiyondur ve organik bileşikleri doymun hale getirmek, farklı işlevsel gruplara sahip farklı bileşikler oluşturmak için uygulanan bir indirgeme tepkimesi prosesisidir [2].

Kimyasal grupların hidrojenasyon reaksiyonları istemli olmasına rağmen oluşan reaksiyon hızı oldukça düşüktür ve reaksiyonun yürütülmesi kolay değildir [3]. Ancak, uygun bir katalizör varlığında hidrojenasyon reaksiyonları kolaylıkla gerçekleşebilmektedir [4]. Farklı alanlarda alkenlerin hidrojenlenmesi için kullanılan birçok katalizör literatürde mevcuttur. Tepkimeler genel olarak d-grubuna ait uygun bir metal katalizörü kullanılarak ve fonksiyonel gruba H_{2(g)} bağlanmasıyla gerçekleşir. Bu tür indirgenme tepkimeleri özellikle doymamış hidrokarbonlarda veya karbonil grubu taşıyan yapılarda (alkenler, alkinler, nitriller ve ketonlar) ciddi önem arz etmektedir (**Görsel 1**). Kullanılacak substratın yapısına göre uygun basınç altında gerçekleşen bu tepkime, sağlık, endüstri gibi alanlarda ve yeni organik yapıların elde edilmesinde kullanılmaktadır [2].



Görsel 1. Katlı bağların hidrojenasyon tepkimesi

Herhangi bir katalizör kullanılmadan hidrojenasyon tepkimesiyle alkenlerden alkan eldesi sağlanabilir ve bu tepkime termodinamik açıdan istemli olmasına karşın hesaplanan tepkime hızı oldukça düşük değerlerdedir [4-6]. Anilin ve anilin türevleri gibi endüstrinin birçok kolunda (eczacılık, tıp, patlayıcı bileşik üretimi, boya, kauçuk eldesi, vb.) veya değişik alanlarında kullanılan bileşiklerin sentezinde; nitrobenzenin indirgenmesi prosesi yaygın olarak uygulanmaktadır [7-9]. Nitrobenzenin hidrojen katılarak indirgenmesinde gaz veya sıvı fazdaki substratlar kullanılarak hidrojenasyon gerçekleştirilebilmektedir [10-13]. Nitrobenzenin aniline dönüşüm tepkimesi ve tepkime ara basamakları **Görsel 2** de verilmiştir.



Görsel 2. Nitrobenzenin aniline dönüşüm tepkimesi ve tepkime ara basamakları

Nitrobenzenin indirgenmesi sırasında anilin dışında istenmeyen ve farklı yan ürünler de oluşabilmektedir. Bu amaçla yüksek bir seçiciliğe sahip, maliyeti düşük ve çevre dostu sistemlerin kullanılması zaruridir. Tüm bunlar dikkate alındığında kullanılacak seçici katalizörün önemi çok büyüktür. Nitrobenzenin aniline dönüşüm tepkimesinde Ru, Pd, Pt [14, 15] gibi değerli metallere oluşan katalizörler tercih edilmekle birlikte daha ekonomik olan Ni, Co, Cu, vb. katalizörleri de yaygın olarak kullanılmaktadır [16, 17].

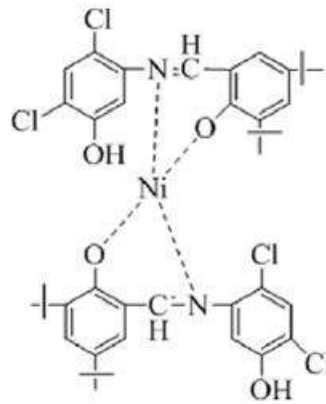
Bu araştırma kapsamında, farklı bir fonksiyonel çevreye sahip bir Nikel-İmin kompleksi sentezlendi [18]. Sentezlenen bu kompleks Grafenoksit üzerine tutturularak yeni bir destekli metal kompleksi (Ni-Im@GO) elde edildi. Sentezlenen Grafen oksit destekli-Nikel kompleksinin yapısı farklı spektroskopik ve mikro analiz teknikleri kullanılarak aydınlatıldı. Elde edilen Grafen oksit destekli Ni-İmin kompleksi nitrobenzen ve nitrobenzen türevi seçilen bazı bileşiklerinin hidrojenasyon tepkimelerinde katalizör olarak kullanıldı. Tepkimenin ilerleyişi ve dönüşümü gaz kromatografisi kullanılarak açıklandı. Grafen oksit destekli-Nikel kompleks katalizörünün kullanıldığı bu tepkimelerde yüksek bir aktivite göstermiştir. Nitrobenzen hidrojenasyonla % 100 aniline dönüşürken diğer substratlar ise % 88 ile % 100 arasında bir dönüşüm gerçekleştirmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Katalizör Sentezi

2.1.1. Ni-İmin kompleksinin sentezi

30 mL etilalkol çözücüsü içindeki 1 mmol 5-Amino-2,4-diklorofenol-3,5-ditertbutilsalisilaldimin ligandının üzerine 10 mL etilalkol de çözülmüş olan 0.5 mmol NiCl₂ tuzu ilave edildi. Karışım 4 saat reflaks edilerek süzüldü. Daha sonra sentezlenen kompleks metanolde kristallendirildi. Sentezlenen Nikel-İmin kompleksinin yapısı **Görsel 3.** de verilmiştir.



Görsel 3. Sentezlenen Nikel-İmin kompleksinin yapısı

2.1.2. Grafen oksit destekli Ni-İmin (Ni-Im@GO) katalizörünün sentezi

Grafen oksit destekli Ni-İmin (Ni-Im@GO) katalizörü, Grafen oksit ile 5-Amino-2,4-diklorofenol-3,5-ditertbutilsalisilaldimin-Ni-İmin kompleksinin [18] mekanik olarak karıştırılarak etilalkol içerisinde çözünmesi sonucu hazırlandı. Elde edilen Ni-Im@GO destekli kompleks süzüldükten sonra kurutuldu ve sonrasında yapı analizi gerçekleştirildi.

2.2. Katalitik Hidrojenasyon Yöntemi

Hidrojenasyon reaksiyonları 100 mL lik basınçlı reaktöre eklenen nitrobenzenin DMF de çözünerek ve içerisinde hidrojen gazı geçirilmesiyle ve 5 mg Grafen oksit destekli-Nikel-İmin katalizörünün eklenmesiyle 25, 45ve 65 °C sıcaklıkta ve 1 atm basınç altında gerçekleştirilmiştir (**Görsel 4**). Ayrıca aynı deneyler desteksiz saf Nikel-İmin katalizörü kullanılarak da yapıldı ve iki katalizörün aktiviteleri karşılaştırıldı. Substratların donuşumu belirli zaman aralıklarında ölçülerek katalizörün aktivitesi belirlendi.



Görsel 4. Ni-Im@GO Katalizörlüğünde Nitrobenzenin Hidrojenasyon Tepkimesi

Grafen oksit destekli-Nikel-İmin katalizörünün nitrobenzenin aniline dönüşümündeki aktivitesi zamana bağlı olarak incelendi. H₂ gazının reaksiyon ortamına gönderilmesiyle nitrobenzenin aniline dönüşümü ve reaksiyonun ilerleyişi gaz kromatografisi (GC) ile takip edilerek tanımlandı. Sonraki adımda aynı reaksiyon koşullarında desteksiz saf Nikel-İmin katalizörü kullanılarak nitrobenzenin indirgenme tepkimeleri test edildi ve 25 °C 45 °C de desteksiz katalizörün dönüşümü daha uzun sürelerde (% 94 ve % 99 dönüşümle) tamamladığı kaydedildi. 65 °C de ise % 100 dönüşümle ve Grafen oksit destekli katalizöre göre daha uzun sürede anilin meydana geldiği gözlemlendi (**Çizelge 1**). Deneysel olarak tükenen H₂ gazının hacminin zamana bağlı değişimi gözlemlenerek veriler hesaplandı. Elde edilen veriler doğrultusunda Grafen oksit destekli-Nikel-İmin (Ni-Im@GO) katalizörünün nitrobenzen hidrojenasyonunda yüksek bir aktivite göstererek nitrobenzeni tamamen aniline dönüştürdüğünü söylemek mümkündür.

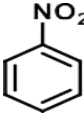
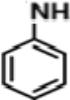
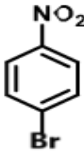
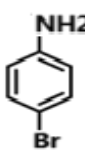
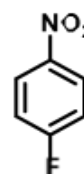
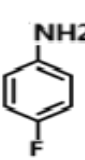
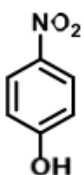
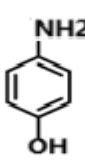
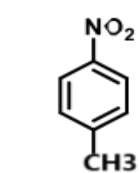
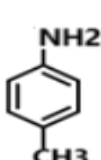
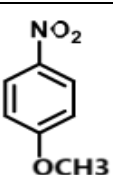
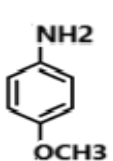
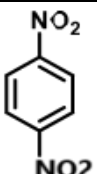
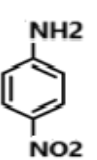
Çizelge 1. Grafen oksit destekli-Nikel kompleks (Ni-Im@GO) katalizli nitrobenzenin hidrojenasyon tepkimesinde elde edilen deneysel sonuçlar

Katalizör	Sıcaklık	Zaman	Donuşum (%)
Ni-Im	25 °C	113 dk	94
Ni-Im	45 °C	91 dk	99
Ni-Im	65 °C	75 dk	100
Ni-Im@GO	25 °C	72 dk	100
Ni-Im@GO	45 °C	56 dk	100
Ni-Im@GO	65 °C	36 dk	100

Nitrobenzenin katalitik hidrojenasyon reaksiyonu tamamlandıktan sonra Ni-Im@GO katalizörünün etkinliğini aynı reaksiyon şartlarında farklı nitrobenzen türevi substratlar (4-Bromonitrobenzen, 4-Floronitrobenzen, 4-nitrofenol, 4-metoksinitrobenzen, 4-nitronitrobenzen) kullanarak da test edildi. Deneysel sonuçlara göre Ni-Im@GO katalizörü; kullanılan 6 farklı substratın hidrojenasyon tepkimeleri sonucunda sırasıyla % 99, % 96, % 100, % 100, % 91 ve % 88 dönüşümlerle tepkimeleri tamamlamış ve karşılık gelen doymuş yapıların

(4-Bromoanilin, 4-Floroanilin, 4-idroksianilin, 4-metilanilin, 4-metoksianilin, 4-nitroanilin) oluşumunu daha kısa sürede gerçekleştirmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Ni-Im@GO katalizörünün farklı nitrobenzen türevlerinin hidrojenasyon reaksiyonundaki aktivitesi

Substrat	Ürün	Dönüşüm (%)
		100
		99
		96
		100
60 		100
61 		91
62 		88

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, farklı fonksiyonel çevreye sahip bir Nikel-İmin kompleksi sentezlendi. Sentezlenen bu kompleks Grafen oksit üzerine tutturularak yeni bir destekli metal kompleksinin (Ni-Im@GO) eldesi amaçlandı. Sentezlenen Grafen oksit destekli-Nikel-İmin bileşiğinin yapısı farklı spektroskopi ve mikro analiz teknikleri kullanılarak aydınlatıldı.

Sentezlenen destekli Ni-İmin kompleksi (Ni-Im@GO) nitrobenzen ve türevlerinin hidrojenasyon tepkimelerinde katalizör olarak kullanıldı. Tepkimenin ilerleyişi ve dönüşümü gaz kromatografisi kullanılarak tanımlandı. Elde edilen Grafen oksit destekli Ni-İmin kompleksi nitrobenzen ve nitrobenzen türevi seçilen bazı bileşiklerinin hidrojenasyon tepkimelerinde katalizör olarak kullanıldı. Tepkimenin ilerleyişi ve dönüşümü gaz kromatografisi kullanılarak açıklandı. Nitrobenzen hidrojenasyonla % 100 aniline dönüşürken diğer substratlar ise % 88 ile % 100 arasına bir dönüşüm gerçekleştirdiği kaydedildi. Ayrıca; Grafen oksit destekli Ni-İm katalizörünün, desteksiz Ni-İm katalizörüne göre daha yüksek tepkime hızlarına sahip olduğunu ve her üç sıcaklıkta da dönüşümü tamamlayarak anilini daha kısa sürede oluşturduğunu söyleyebiliriz. Bununla birlikte tükenen H₂ gazının hacminin farklı sıcaklık değerleriyle birlikte değiştiği gözlemlenmiştir. Sıcaklığın artması indirgenme reaksiyonunun süresini kısaltırken reaksiyon hızı da arttırmıştır. Deneysel tüm sonuçlar dikkate alındığında Grafen oksit destekli Nikel-İmin (Ni-Im@GO) kompleksinin bu tepkime için uygun bir katalizör olduğunu ve çeşitli nitroaren bileşiklerinin hidrojenasyon tepkimelerinde yüksek aktivite gösterdiği ortaya çıkmıştır.

KAYNAKÇA

1. Neri G., Rizzo G., Luca L., Donato A., Musolino M., G., Pietropaolo R., Supported Pd catalysts for the hydrogenation of campholenic aldehyde: Influence of support and preparation method, *Appl. Catal. A: General*, 356,113-120, 2009.
2. Kilinc D., Aromatik aminler temelinde salisilaldiminlerin ve Pd (II) metal komplekslerinin sentezi, spektral ve katalitik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
3. Anjalin M., Kanagathara N., Suganthi A.B., A brief review on aniline and its derivatives, *Materials Today: Proceedings*, 33, 4751-4755, 2020.
4. Bena L.C. Investigations into the asymmetric reduction of ketones M.S. thesis, University of Port Elizabeth, Port Elizabeth, South Africa 2003.
5. Duckett Simon B., Newell Connie L., Eisenberg R., Observation of New Intermediates in Hydrogenation Catalyzed by Wilkinson's Catalyst, RhCl(PPh₃)₃, Using Parahydrogen-Induced Polarization, *Journal of the American Chemical Society*, 116, 10548-10556, 1994.
6. K. Wilson, Green chemistry and catalysis, *Appl. Organomet. Chem.*, 21, 1002, 2007.
7. Pan X.Y., Gao X., Chen X.X., Lee H.N., Liu Y., Withers R. L., Yi Z.G, Design Synthesis of Nitrogen-Doped TiO₂@Carbon Nanosheets toward Selective Nitroaromatics Reduction under Mild Conditions, *ACS Catal.*, 7, 6991-6998, 2017.
8. Huang H.G., Wang X.G., Li X., Chen C.J., Zou X.J., Ding W.Z., Lu X.G, Highly chemoselective reduction of nitroarenes over non-noble metal nickel-molybdenum oxide catalysts, *Green Chem.*, 19, 809-815, 2017.
9. Wolfe P., Wagaw S., Marcoux J.F., Buchwald S.L., Rational Development of Practical Catalysts for Aromatic Carbon-Nitrogen Bond Formation, *Acc. Chem. Res.*, 31, 805-818, 1998.

10. Feng J., Handa S., Gallou F., Lipshutz B.H., Safe and Selective Nitro Group Reductions Catalyzed by Sustainable and Recyclable Fe/ppm Pd Nanoparticles in Water at Room Temperature, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 55, 8979-8983, 2016.
11. Chen X.D., Shen K., Ding D.N., Chen J.Y., Fan T., Wu R.F., Li Y.W. Solvent-driven selectivity control to either anilines or dicyclohexylamines in hydrogenation of nitroarenes over a bifunctional Pd/MIL-101 catalyst. *Acs Catal.*, 8, 10641-10648, 2018.
12. Wang H., Shi F., Pu M., Lei M. Theoretical study on nitrobenzene hydrogenation by N-doped carbon-supported late transition metal single-atom catalysts, *ACS Catal.*, 12, 11518-11529, 2022.
13. Couto C. S., Madeira L. M., Nunes C. P., Araújo P. Commercial catalysts screening for liquid phase nitrobenzene hydrogenation, *Appl. Catal.A-Gen.*, 522, 152-164, 2016.
14. Kim A., Rafiaei S.M., Abolhosseini S., Shokouhimehr M. Palladium nanocatalysts confined in mesoporous silica for heterogeneous reduction of nitroaromatics, *Energy Environ. Focus*, 4, 18-23, 2015.
15. Hamza M.F., Guibal E., Althumayri K., Wei Y., Eid A.M., Fouda A. Polycondensation of N-(2-acetamido)-2-aminoethanesulfonic acid with formaldehyde for the synthesis of a highly efficient sorbent for Cs(I), *Chem. Eng. J.*, 454, 140155, 2023.
16. Huang L., Lv Y., Wu S., Liu P., Xiong W., Hao F., Luo H.A. Activated carbon supported bimetallic catalysts with combined catalytic effects for aromatic nitro compounds hydrogenation under mild conditions, *Appl. Catal. A*, 577, 76-85 2019.
17. Li M., Chen S., Jiang Q., Chen Q., Wang X., Yan Y., Liu J., Lv C., Ding W., Guo X. Origin of the activity of Co-N-C catalysts for chemoselective hydrogenation of nitroarenes, *ACS Catal.*, 11, 3026-3039, 2021.
18. Kılınc D., Sahin O. Synthesis of polymer supported Ni (II)-Schiff Base complex and its usage as a catalyst in sodium borohydride hydrolysis, *Int. J. Hydrogen Energy*, 43, 10717-10727, 2018.

TİCARİ ARAÇ KOLTUKLARINDA YAPISAL İYİLEŞTİRME VE HAFİFLETME ÇALIŞMASI

STRUCTURAL IMPROVEMENT AND LIGHTENING STUDY ON COMMERCIAL VEHICLE SEATS

MEHMED EMRE KÜÇÜKKAYA ¹, EMRE ORUÇ ¹, Doç. Dr. AHMET YILDIZ ²

¹ ISRINGHAUSEN, Dosab, mekucukkaya@isri.com.tr - ORCID ID: 0009-0007-2659-5945

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Böl.

ahmetyildiz@uludag.edu.tr- ORCID ID: 0000-0001-5434-4368

ÖZET:

Bu çalışmada hafif ticari araçlarda kullanılan koltukların ECE-R14 standartlarında yapısal tasarım iyileştirmeleri gerçekleştirilmiş ve daha düşük maliyetli ve daha hafif koltuk tasarımları elde edilmiştir. Araç kategorine göre M2 sınıftan kullanılmak üzere tasarlanmış bir yolcu koltuğunun ilk önce mevcut durumu ECE-R14 testi ile analiz edilmiş ve belirlenen bölgelerde yapısal değişikliklere gidilerek daha mukavemetli bir yapıya dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Yeni tasarımda yapılan değişiklik sonucunda üretimi gerçekleştirilen koltuğun yeniden ECE-R14 testleri yapılarak daha mukavemetli bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Önceki tasarımda koltuğun H yapısında elde edilen 358 mm'lik maksimum şekil değişikliği potansiyometre üzerinden okunan değer, yeni hafifletilmiş ve güçlendirilmiş koltuk üzerinde maksimum 253 mm olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde koltuk üzerinde %2.51 lik bir hafifletme gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada yolcu koltuklarında daha mukavemetli ve daha hafif bir koltuk tasarımı elde edilerek üretici firmalara yönelik önemli sonuçlar paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Koltuk, Yapısal İyileştirme , Hafifletme

1.GİRİŞ

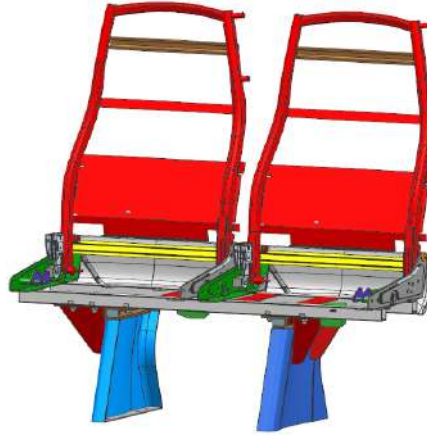
Otomotiv sektöründe son yıllarda binek ve ticari araç üreticileri yakıt tüketiminin azaltılmasına yönelik hafifletme çalışmaları yapmaktadır. Ticari araçlarda ve binek araçlarda yeni GSR 2 geçişiyle birlikte ağırlık problemleri yaşanmaktadır. Bu kapsamda hafif ticari M2

kategorisindeki araçlarda 5 tonu aşmayacak şekilde ve sürücü dışında minimum 8 yolcu taşıyabilen araçlardır [1]. M2 sınıfı servis ve okul taşıtlarında yolcu sayısının fazla olması ve GSR geçişinden dolayı araçlara yeni opsiyonların eklenmesiyle birlikte ağırlık problemleri ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte koltuk üreticisi firmalar konfordan ödün vermeden regülasyon gerekliliklerini sağlayarak görsel açıdan müşteriye ve son kullanıcıya hitap edebilecek yeni tasarımlara yönelmiştir. Yeni koltuk tasarımlarıyla birlikte optimizasyonlar büyük önem kazanmıştır [2]. Yapılan bu çalışmalar neticesinde enerji ve yakıt tasarrufunda önemli bir etkiye sahiptir. Taşıt sistemlerinin enerji verimliliği ve performans iyileştirmeleri için çeşitli optimizasyon yöntemleri bulunmaktadır [3-7]. Ticari araçlarda hafifletme, çeşitli mühendislik analizleri ve malzeme seçimleriyle gerçekleştirilebilir. Araçların yapısal tasarımı, ağırlık azaltma konusunda kritik bir öneme sahiptir. CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) ve FEA (Sonlu Elemanlar Analizi) gibi yöntemlerle, araçların daha az malzeme ile daha sağlam hale gelmesi sağlanabilir. Malzeme Optimizasyonu ile yapısal tasarımda FEA ve CAD analizler sonucunda dayanıklılığı etkilemeden malzemede hafifletme yapılabilir ve ayrıca topoloji optimizasyonu ile malzeme mukavemetine etki etmeden optimum tasarımlar elde etmek mümkündür [8-11] .

Bu çalışmada hafif ticari araçlarda kullanılmak üzere tasarlanan koltuk gövdesinin hafifletme ve mukavemeti artırılma çalışmaları yapılmıştır. İlk olarak önceki tasarımlarda kullanılan koltuk gövdesinin testlerinde elde edilen şekil değiştirmelerin fazla olduğu bölgeler tespit edilmiş ve bunu azaltmak için yeni bir tutamak sacı tasarlanmıştır. Bununla birlikte yan traversler üzerinde destek amacıyla kullanılan miller ve profiller arasında kullanılan destek sacının kalınlığı azaltılmış ve bir adet destek sacı da bu bölgeden hafifletmek üzere kaldırılmıştır. Yapılan deneysel testlerin sonucunda sırt yapısında mukavemetin artırılarak 358 mm olan şekil değişikliğinin 253 mm ye düşürüldüğü tespit edilmiştir. İkili koltuk ağırlıkları ele alındığında toplamda %2.51 bir hafifletme sağlanmıştır.

KOLTUK İLK TASARIM MODELİ

Hafif ticari araçlarda kullanılmaya yönelik mevcut ilk tasarım Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Ticari araçlarda kullanılan koltuk modeli

İlk tasarım modeli Şekil 2’de verilen ve uluslararası standartlarda ECE-R14 ismiyle geçen M2 sınıfı koltuk için emniyet kemerli çekme testlerine tabi tutulmuştur.

R14 Testleri Özet Tablosu				
	Max 8+1 kişilik araçlar	Min: 5+1 yolcu, max. beş tonluk araçlar	Min: 5+1 yolcu, ve min. beş tonluk araçlar	
3 Nokta Emniyet Kemerli 	M1	M2	M3	
	F1	1350 ± 20 daN	675 ± 20 daN	450 ± 20 daN
	F2	1350 ± 20 daN + G*20	675 ± 20 daN + G*10	450 ± 20 daN + G*6,6
	Koltuk ağırlığının 20 katı komple koltuğa ilave yük olarak uygulanır. F1=1350 ± 20 daN F2=1350 ± 20 daN + G*20 (Yukarıda belirtilen kanetler en az 0,2 saniye uygulanmalıdır.)	Koltuk ağırlığının 10 katı komple koltuğa ilave yük olarak uygulanır. F1=675 ± 20 daN F2=675 ± 20 daN + G*10 (Yukarıda belirtilen kanetler en az 0,2 saniye uygulanmalıdır.)	Koltuk ağırlığının 6,6 katı komple koltuğa ilave yük olarak uygulanır. F1=450 ± 20 daN F2=450 ± 20 daN + G*6,6 (Yukarıda belirtilen kanetler en az 0,2 saniye uygulanmalıdır.)	
2 Nokta Emniyet Kemerli 	M1	M2	M3	
	F	2225 ± 20 daN + G*20	1110 ± 20 daN + G*10	740 ± 20 daN + G*6,6
		Koltuk ağırlığının 20 katı komple koltuğa ilave yük olarak uygulanır. F=2225 ± 20 daN + G*20 (Yukarıda belirtilen kanetler en az 0,2 saniye uygulanmalıdır.)	Koltuk ağırlığının 10 katı komple koltuğa ilave yük olarak uygulanır. F=1110 ± 20 daN + G*10 (Yukarıda belirtilen kanetler en az 0,2 saniye uygulanmalıdır.)	Koltuk ağırlığının 6,6 katı komple koltuğa ilave yük olarak uygulanır. F=740 ± 20 daN + G*6,6 (Yukarıda belirtilen kanetler en az 0,2 saniye uygulanmalıdır.)
G : Tek Koltuk ağırlığı (Newton) daN : 10 Newton 1 kg = 1 daN İliki koltuğa G yerine Toplam koltuk ağırlığının yarısı girilir.				

Şekil 2. ECE-R14 Test Gereksinimleri

Şekil 3’de M2 sınıfı ticari araç koltuğunun çekme testleri öncesi deney düzeneğinin koşulları koltuğun çekme noktaları ve bağlantı durumu görülmektedir.



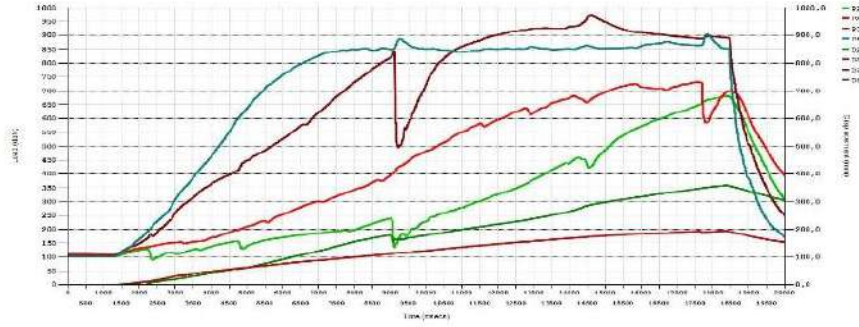
Şekil 3. İlk modelin test öncesi deney koşulları

Yapılan deneyler sonucunda testten sonraki koltuk yapısı Şekil 4'te görüldüğü elde edilmiştir. Burada elde edilen sonuçların regülasyon da istenilen değerleri sağlayıp sağlamadı kontrol edilmiş ve testlerin başarılı bir şekilde tamamlanma durumu incelenmiştir.



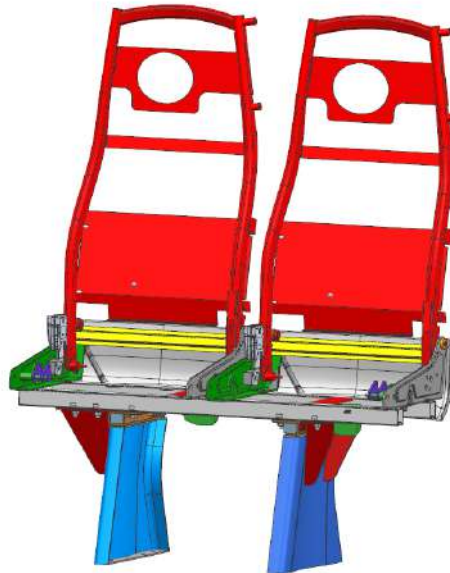
Şekil 4. Test Sonrası ilk modelin deneysel analizi

Deneysel test koşulları ve test öncesi ve sonrası olarak koltuğun durumu Şekil 3 ve Şekil 4 de değinilmiştir. Koltuğun test esnasındaki çekme değerleri ise Şekil 5 de verilmiştir.



Görsel 5. İlk modelin deneysel çekme testleri sonuçları


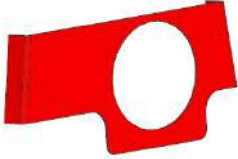
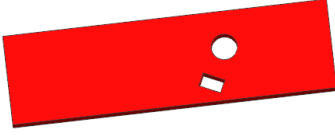

Fiziksel testler sonucunda potansiyel metre üzerinden ölçülen değerlerde maksimum 358 mm ilerleme görülmektedir. Koltuk H noktası üzerinden yapılan hesaplamalar sonucunda Regülasyonları sağlayabilmesi için maksimum ilerlemenin 370 mm olması gerekmektedir. Sonuçlar ve koltuk yapısı incelendiğinde Regülasyonları sağlayarak test başarılı olarak görülmüştür.



Şekil 6. Hafifletilmiş ve güçlendirilmiş yeni tasarlanan koltuk gövde yapısı

İlk test sonuçları neticesinde gövde modeli üzerinde 3 numaralı travers destek milleri, 2 numaralı emniyet kemer sacı çıkartılmıştır. Sırt üzerinde mukavemetin artırılması hedeflendiğinden 1 numaralı tutamak sacında tasarım değiştirilmiştir. Temel olarak değiştirilen gövde parçaları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Değişen parça tasarımları

	Eski Tasarım	Yeni Tasarım
1		
2		

Hazırlan yeni tasarıma göre üretilen koltuk tekrar aynı şekilde ECE-R14 standartlarında Şekil 7’de görüldüğü gibi testlere hazırlanmıştır.

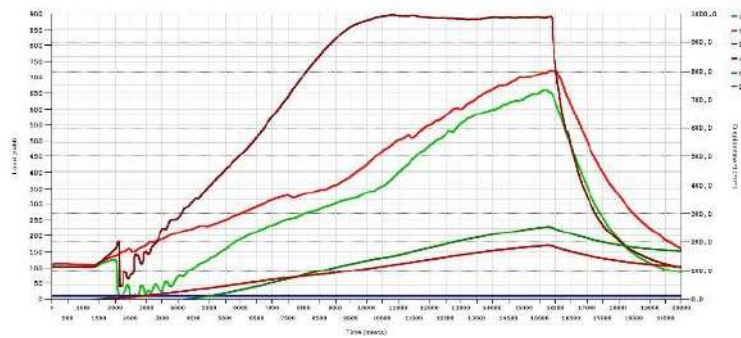


Şekil 7. Hafifletilmiş ve güçlendirilmiş koltuğun test öncesi yeni görseli



Şekil 8. Hafifletilmiş ve güçlendirilmiş koltuğun test sonrası durumu

DeneySEL test koşulları ve test öncesi durum Şekil 7’de test sonrası koltuğun durumu Şekil 8 te verilmiştir. Fiziksel testler sonucunda yeni güçlendirilmiş koltuğun potansiyel metre üzerinden ölçülen değerlerde maksimum 253 mm şekil değişikliğine sahip olduğu görülmektedir. Koltuk H noktası üzerinden yapılan hesaplamalar sonucunda regülasyonları sağlayabilmesi için maksimum ilerlemenin 370 mm olması gerekmektedir. Şekil 9’da verilen dENEYSSEL sonuçlar ve koltuk yapısı incelendiğinde yeni tasarlanan koltuğun regülasyonları sağlayarak başarılı şekilde testlerden geçtiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’de karşılaştırmalı olarak da verilmiştir.



Şekil 9. Yeni tasarıma ait dENEYSSEL çekme test sonuçları

Tablo 2. Eski ve yeni tasarıma ait test sonuçlarının karşılaştırılması

	Eksi Tasarım	Yeni Tasarım
Maksimum Yer değiştirme	358 mm	253 mm
Maksimum Kuvvetler	850 daN	850 daN
Ağırlıklar	30.05 kg	29.35 kg

DEğERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada hafif ticari araçlarda kullanılmak üzere tasarlanan koltuk üzerinde hafifletme ve mukavemeti arttırılmak adına yapısal iyileştirilmeler yapılmıştır. İlk olarak eski projelerde kullanılan koltuk üzerinde yapılan testlerde deformasyonun fazla olduğu bölgelerde yeni tasarlanan tutamak sacı kullanılmıştır. Bununla birlikte yan traversler üzerinde destek amacıyla kullanılan miller ve profiller arasında kullanılan destek sacının kalınlığı azaltılmış 1 adet destek sacı da çıkartılmıştır. Yapılan testlerin sonucunda sırt yapısında dayanım arttırılarak 358 mm olan ilerleme 253 mm ye dūřürölmüřtür. İekli koltuk ağırlıkları ele alındığında %2.51 bir hafifletme sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- 1) <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/02/20090214-3.htm> (Erişim tarihi: 23.12.2023)
- 2) Kucukkaya M.E (2023) Hafif Ticari Arac Koltuklarında Kullanılan Ayak Bağlantısının Yapısal Analizi ve Optimizasyonu, ABANT 2nd International Conference On Current Scientific Researches, 2023, Bolu-Türkiye
- 3) Yıldız, A., Yılmaz, Ö., & Karabulut, H. (2022). Structural design optimization of the arc spring and dual-mass flywheel integrated with different optimization methods. *Materials Testing*, 64(2), 240
- 4) Yıldız, A. (2021). Parametric synthesis of two different trunk lid mechanisms for sedan vehicles using population-based optimisation algorithms. *Mechanism and Machine Theory*, 156, 10413
- 5) Yıldız, A. (2019). A comparative study on the optimal non-linear seat and suspension design for an electric vehicle using different population-based optimisation algorithms. *International Journal of Vehicle Design*, 80(2-4)
- 6) Spillers, W. R., & MacBain, K. M. (2009). *Structural optimization*. Springer Science & Business Med
- 7) Lin, Y. C., & Nian, H. C. (2006). Structural design optimization of the body section using the finite element method (No. 2006-01-0954). SAE Technical Paper.
- 8) Bendsoe, M. P., & Sigmund, O. (2003). *Topology optimization: theory, methods, and applications*. Springer Science & Business Med
- 9) Kütük, M.A., Göv, İ, (2013) A finite element removal method for 3D topology optimization, *Advances in Mechanical Engineering* 5, 413463
- 10) Yang R.J., Chuang ve C.H. (1993) Optimal topology design using lineer programming, *Structural Optimization*, Vol.68, p.265-29
- 11) Kahraman, F. & Küçük, M. (2020). Otomotiv Endüstrisinde Topoloji Optimizasyonu ile Ağırlık Azaltma Uygulaması Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 623-631.

INSIGHT INTO THE POTENTIAL EFFECTS OF NANOPESTICIDES ON THE BLOOD-BRAIN BARRIER BY MOLECULAR DOCKING

Araç. Gör. Dr. Ayşe YENİLMEZ

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi,

ayseyenilmez@yyu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-0200-9052

Araç. Gör. Dr. Serap DEMİREL

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi,

serapdemirel@yyu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-1877-0797

ABSTRACT

The excessive application of pesticides and fertilizers to enhance yields is inefficient, as a significant portion is squandered and detrimental to both the environment and human health. The progression of technology has led to an increased utilization of nanopesticides and nanofertilizers to diminish reliance on mineral fertilizers, enhance yields, and foster agricultural development. Considering the size, surface area and other physicochemical structures of nanoparticles, their large-scale release into the environment and food chain opens the door to another dimension of environmental pollution and may pose risks to human health. This study aimed to elucidate the interaction between certain nanopesticides and certain proteins in the blood-brain barrier by molecular docking analysis, given the capacity of nanoparticles to traverse this barrier, as indicated in the literature. The molecular docking results of three protein and five ligand indicated that the maximum autodocking value of -7.7 k/cal-1 was recorded for the interaction between dystroglycan and pyrethrin, whereas the interaction between dystroglycan and zineb yielded the lowest docking score of -3.6 k/cal. Upon examining the interaction between the ligands of the claudin protein, no bond formation was seen between zineb, glyphosate and cypermethrin. No interaction was identified between zineb, glyphosate, and cypermethrin when fibromodulin was evaluated. Dystroglycan established varying affinities for all ligands, reflected in distinct scores. The present research illustrates *in silico* the molecular interactions between nanopesticides and proteins within the blood-brain barrier, indicating that various nanoparticles can engage with distinct molecules. This research will illuminate forthcoming *in vivo* and *in vitro* investigations on this topic.

Keywords : Nanotechnology, nanopesticide, human health, molecular docking

1. INTRODUCTION

A relatively new discipline, nanobiotechnology investigates the chemical and physical characteristics of nanostructured materials with dimensions of less than 100 nm and wide-ranging possible uses (Conde et al., 2014). Numerous industries stand to benefit from nanostructured materials, including those dealing with industrial materials, healthcare, nutrition, clothing, cosmetics, electronics, energy, and emerging social and economic trends. (Parveen et al., 2012).

Access to sufficient, high-quality food that can feed people on every continent is becoming more urgent as the global population continues to rise. There has been a rise in the use of agrochemicals such as herbicides, insecticides, and fertilizers to boost agricultural output, which is linked to the demand from investors in agricultural commodities. The cyclical declines caused by the careless use of agrochemical technologies have consequences for consumers, ecosystems, and the agricultural chain as a whole, but it is imperative that governments, food producers, funding agencies, and farmers all work together to mitigate these effects (Kah and Hoffmann, 2014). Agrochemical technology is primarily designed to safeguard agricultural areas from pests (detrimental insects, pathogens, parasitic weeds) that threaten productivity and production encompassing the assessment of soil and crop health, as well as the regulation of livestock and fishery products. However, crop yields have taken a hit due to increased insect and pathogen resistance, a surge in the need for new agrochemicals, and a worsening of environmental imbalance caused by the careless use of pesticides (Yadav et al., 2020; Bombo et al., 2019). The increased total surface area of agrochemical nanoparticles enhances contact with crop pests, rendering them both effective and unpredictable. The disorganized and careless use of pesticides in farming increases the likelihood of resistance to pathogens, decreases biodiversity, and hinders nitrogen fixation, and increases the bioaccumulation of pesticides in crops, animals, and waterways. This poses a growing danger to ecosystems and human health, and it also slows down efforts to develop more sustainable farming practices (Vigneshwaran et al., 2006; Osorio-Echavarría et al., 2021). There has recently been an increase in the investigation of a discussion of the impact that nanoparticles have on biological systems typically found in the environment (Elder et al., 2006; Kim et al., 2006). These nanoparticles (1 to 100 nm) possess unique features that are particularly advantageous for applications in commercial, medicinal, and environmental sectors (Kiyatkin et al., 2007). The vast majority of these nanoparticles are made up of transition metals, which include materials like silicon, carbon, aluminum, silver, copper, and metal oxides. Owing to their diminutive dimensions, these particles can readily traverse the blood-brain barrier (BBB) and/or compromise the integrity of the barrier by modifying endothelial cell membrane functionality (Oberdörster et al., 2004)). Despite our enhanced comprehension of blood-brain barrier (BBB) function, the impact of nanoparticles on the BBB remains predominantly unexplored (Sharma et al., 2009).

Recently, the utilization of nanotechnology for the intelligent controlled release of fertilizers and pesticides has been on the rise. While the prospects for nanopesticides in agricultural advancement appear favorable, the risk of exposure to toxic agricultural chemicals capable of traversing the blood-brain barrier and other similar biological obstacles, poses a substantial

concern due to the potential for irreparable harm to essential organs. It has been shown in multiple studies that nanoparticles are capable of traversing the blood-brain barrier (Hanada et al., 2014; Skalska et al., 2015; Wu et al., 2023) This work aimed to elucidate the connection between certain compounds employed as nanopesticides and specific proteins present in the blood-brain barrier by molecular docking analysis.

2. MATERIAL-METHODS

2.1. Creating the Ligand-Target and Molecular Docking of Structures

The three-dimensional structural data of the protein sequences for dystroglycan, claudin, and fibromodulin from Homo sapiens were retrieved from the Protein Data Bank (<https://www.rcsb.org/>) under accession numbers 8UF4, 7KP4, and 5MX0, respectively. Docking experiments utilized the acquired pdb. files as receptors. By removing unwanted ligands, metals, and ions, the target protein structure was improved using the UCSF Chimera Software. According to Pettersen et al. (2018), Demirel (2021), and Sancaktaroğlu et al. (2023), this tool can help improve compound selection procedures by displaying, profiling, and analyzing chemical libraries from various sources. These three-dimensional nanopesticide representations from literature were obtained from PubChem (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>). These ligands were used in docking research. With UCSF Chimera 1.16, Gasteiger's methodologies were employed to optimize the ligand(s) possessing a net charge of zero. We stored optimized ligands in "mol2 format" for molecular docking. The UCSF Chimera program (version 1.16) was utilized to attach selected nanopesticide chemicals against specific target proteins located in the blood-brain barrier (BBB). This tool utilizes a gradient optimization method during its local optimization phase to ascertain the ligand ranking based on empirical binding free energy (ΔG in kcal mol⁻¹). Once the docking technique was finished, UCSF Chimera (version 1.16) was used to conduct a thorough examination and comparison of the docked sites of the target proteins and ligands.

3. RESULT AND DISCUSSION

The advancements that nanotechnology has made in plant science have not been sufficient to assess the benefits and drawbacks of the interactions between nanomaterials and the environment. These interactions include drift, toxicity, bioavailability, bioaccumulation and the safety of microecosystems in agricultural settings (Sanzari et al., 2019). The formulation of nanopesticides involves the reformulation of registered agrochemical chemicals with the goal of enhancing performance and mitigating the downsides of substances that are not technical. A thorough examination that resolves obstacles and undiscovered aspects must be comprehended the reaction of plants to engineered nanopesticides and to evaluate their toxicity.

The BBB is a specific obstacle that modulates the transit of chemicals and sustains brain homeostasis, safeguarding the brain from detrimental organisms or compounds. Notwithstanding the BBB barrier's function, certain chemicals, pharmaceuticals, and nanoparticles are able to pass through this structure and enter the brain. Endocytosis, passive diffusion, and carrier-mediated transport are all involved in this process. A large number of

proteins have been identified as participants in transport across the blood-brain barrier (Alam et al., 2010). While BBB depends on the characteristics of brain endothelial cells (BEC), current research suggests that BEC collaborate with pericytes, neurons, and astrocytes within operational "glio- and neurovascular units (Zlokovic, 2008; Giaume et al., 2010). These interactions determine the distinctive barrier characteristics and therefore govern cerebral blood flow and barrier efficacy (Abbott et al., 2006). Our knowledge of the molecular components of metabolic and physical barriers, as well as the several transport processes that control the permeability of the blood-brain barrier, is extensive (Zlokovic, 2008; Lien et al., 2012). Nanoparticles having cationic surface charges can more easily translocate to the central nervous system due to the anionic nature of the blood-brain barrier (BBB) (Georgieva et al., 2011). Moreover, smaller nanoparticles exhibit an enhanced ability to traverse the barrier (Hanada et al., 2014). In the context of surface engineering, nanoparticles coated with polyethylene glycol (PEG) or surfactants such as polysorbates have demonstrated enhanced permeability across the blood-brain barrier (Liu et al., 2014). Various nanoparticles have been reported to traverse the blood-brain barrier and aggregate in multiple regions of the central nervous system. For example, silver nanoparticles (Ag-NP) were identified in the hippocampus of rats following oral exposure (Skalska et al., 2015). The olfactory bulb, hippocampus, striatum, cortex, cerebellum, and brainstem of rats were shown to contain iron oxide nanoparticles (Fe₃O₄-NP) when they were administered intranasally (Wu et al., 2013), while the olfactory bulb, the striatum, the brain, and the cerebellum were all discovered to contain manganese oxide nanoparticles (MnO-NP) (Elder et al., 2006). The olfactory bulb, cortex, cerebellum and hippocampus of mice that were given titanium dioxide nanoparticles (TiO₂-NP) through the intranasal route showed signs of accumulation (Czajka et al., 2015). Moreover, rats subjected to intraperitoneal exposure to copper nanoparticles (CuO-NP) exhibited the presence of these nanoparticles in the hippocampus, cortex, amygdala, and striatum (An et al., 2012). New agricultural approaches have been made possible by mechanisms for delivery based on nanotechnology, which provide the intelligent controlled release profile of agrichemicals and fertilizers, which is essential for increasing crop output (Prasad et al., 2017). Agriculture relies on such systems to improve fertilizers and agrochemicals (Fraceto et al., 2016). Although nanopesticides show great promise for the future of agriculture, there is a risk of permanent organ damage from human exposure to dangerous agrochemicals that can cross biological boundaries. Exposure to hazardous nanopesticides, which can cause toxic and genotoxic events, is being studied by studying its effects on bulk material chemical composition and physicochemical properties like size, surface properties and electrical charge (Zielińska et al., 2020). In agriculture, nanopesticides are pesticides synthesized in nanomaterials and integrated into a matrix, attached to a hybrid substrate, or equipped with nanocarriers with added functionality to respond to environmental cues or enzyme-mediated events. Nanoparticles' shape and characteristics may explore pesticide actions in nanocarrier formulations made of lipids, silica, polymers, copolymers, metal, ceramic, carbon, and others (Agostini et al., 2012). Nanopesticides improve water solubility, bioavailability, and environmental protection, revolutionizing crop disease, weed, and insect management (Yadav et al., 2020). Nanomaterials have questionable cytotoxicity and genotoxicity. Irrational pesticide use disrupts ecosystems and endangers public health. The acute and chronic impacts of accidental or occupational

pesticide residue consumption from water and food are lethal or years adjusted for disability of life. Central and peripheral neurotoxicity and blood coagulation loss are significant issues (Kuhlbusch et al., 2018). A comprehensive evaluation of the advantages and disadvantages affecting the efficacy and for the approved agricultural applications of nanoparticles to progress in a safe and sustainable way, knowledge of their toxicity is crucial..

According to the research that has been conducted, the ligand conformations and binding affinities of nanopesticides that are presented in Table 1. We were able to obtain a number of positions within the target pocket that had high binding modes and interconnections; however, we chose the positions that had the highest scores (associated with pose consistency) and the highest RMSD refine values (relative to a particular pose's connection to the initial ligand position within the target pocket). Our research indicates that the dystroglycan protein of the blood-brain barrier had the most favorable docking energy with cypermethrin, attaining a Vina score of -7.7 compared to other nanopesticide chemicals. Subsequently, pyrethrin exhibited a vina score of -7.3, while diazinon recorded a vina score of -6.1. No interactions were detected in the docking analysis of the pairs claudin-zineb, fibromodulin-zineb, fibromodulin-glyphosate, claudin-cypermethrin, and fibromodulin-cypermethrin. The minimum Auto Dock Vina score was recorded between the dystroglycan protein and the nanopesticide zineb (figure 1-9).

Table 1: Interaction analysis scores of proteins related with the blood-brain barrier with non-pesticide chemicals

Chemical compounds and blood-brain barrier protein	Dystroglycan PDB ID: 8UF4	Claudin PDB ID: 7KP4	Fibromodulin PDB ID: 5MX0	References
Zineb (PubChem ID: 5284484)	-3.7 kcal/mol and 2 H bound	No interaction found	No interaction found	Sarлак et al., 2014
Glyphosate (PubChem ID: 3496)	-4.5 kcal/mol and 4 H bound	No interaction found	No interaction found	Chen et al., 2018
Diazinon (PubChem ID: 3017)	-6.1 kcal/mol and 1 H bond	-5.1 kcal/mol and 2 H bond	-4.8 kcal/mol and 3 H bond	Yalamalle et al., 2019
Pyrethrin (PubChem ID: 5281555)	-7.3 kcal/mol and 2 H bond	-5.2 kcal/mol and 1 H bound	-6.1 kcal/mol and 2 H bond	Zhang et al., 2019
Cypermethrin (PubChem ID:2912)	-7.7 kcal/mol and 1 H bond	No interaction found	No interaction found	Patel et al., 2018

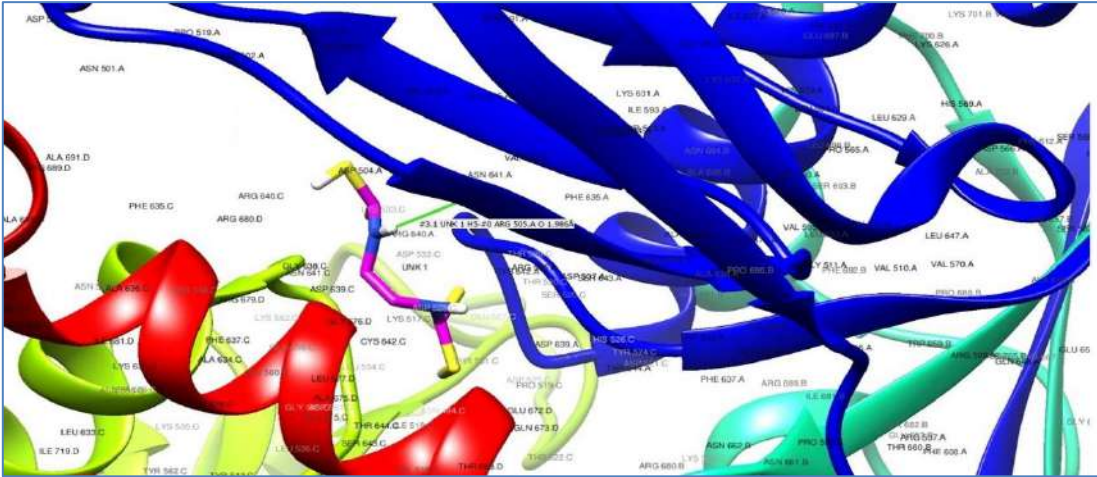


Figure 1. Dystroglycan and Zineb interactions

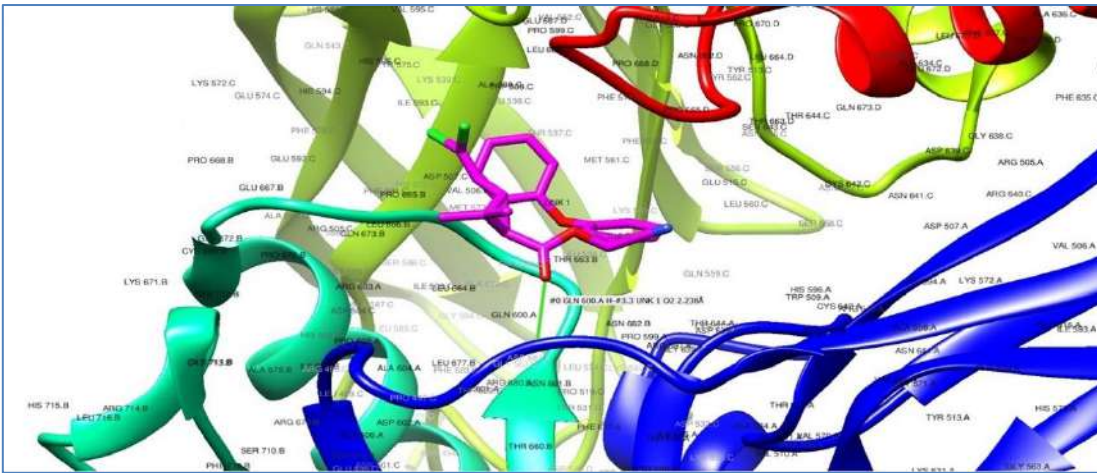


Figure 2. Dystroglycan and cypermethrin interactions

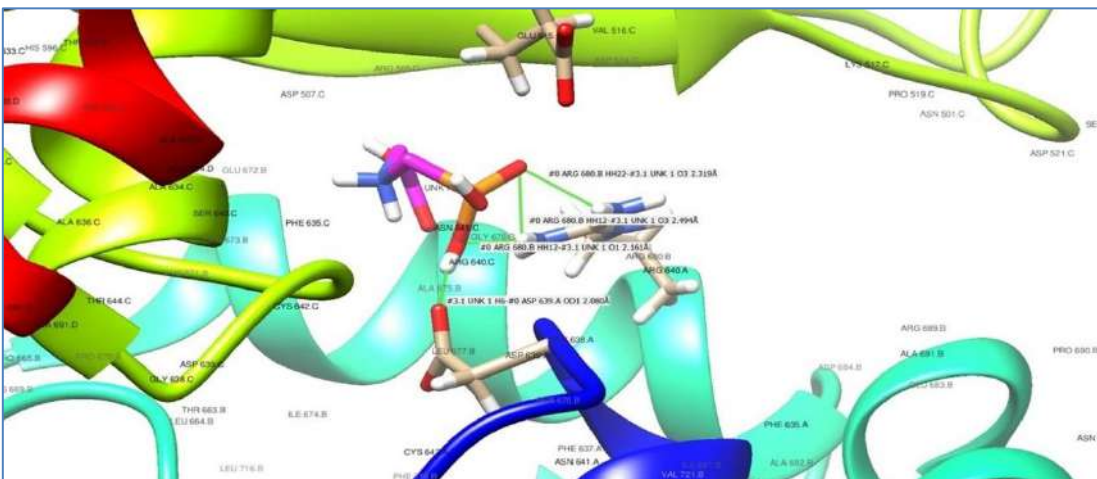


Figure 3. Dystroglycan and glyphosate interactions

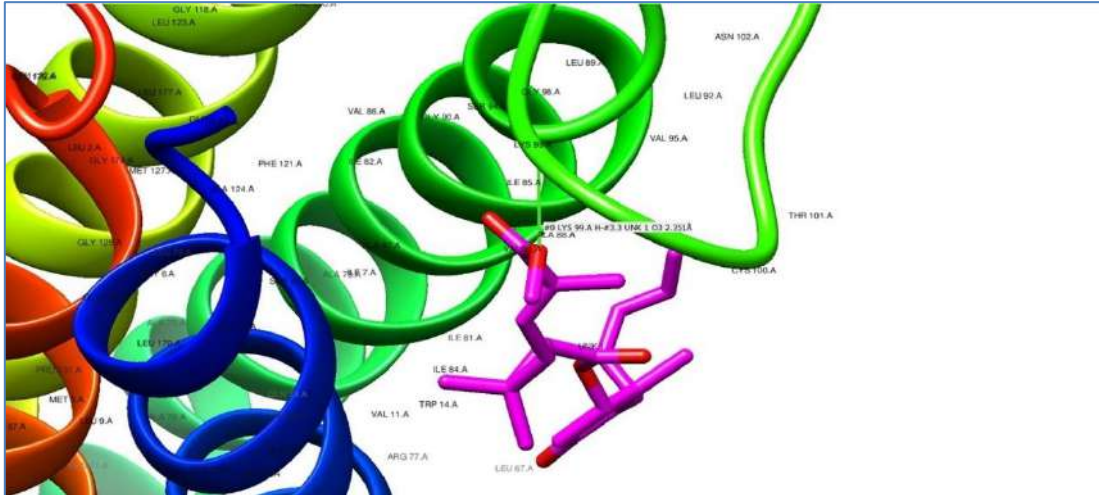


Figure7. Claudin and pyrethrin interactions

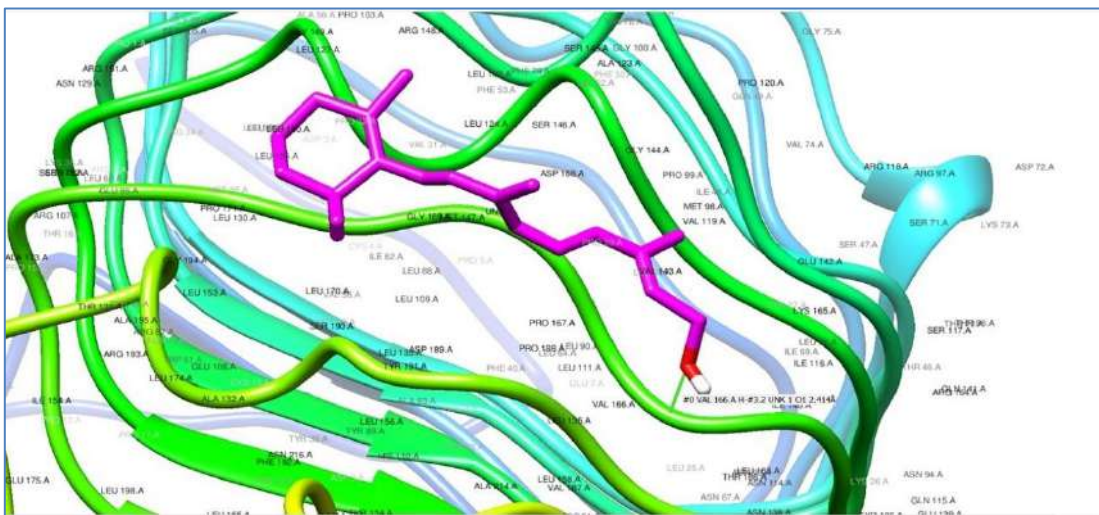


Figure 8. Fibromodulin and glyphosate interactions

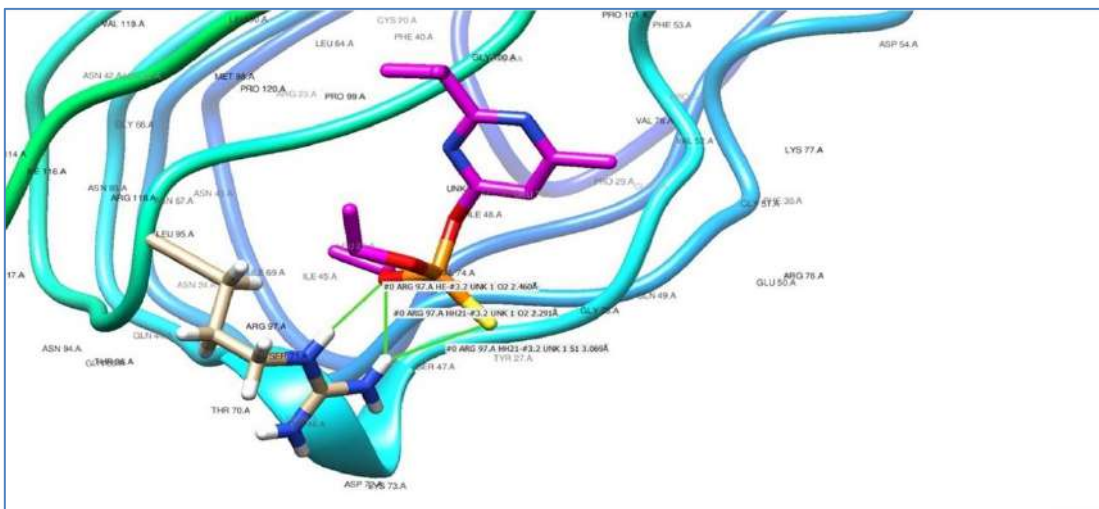


Figure 9. Fibromodulin and diazinon interactions

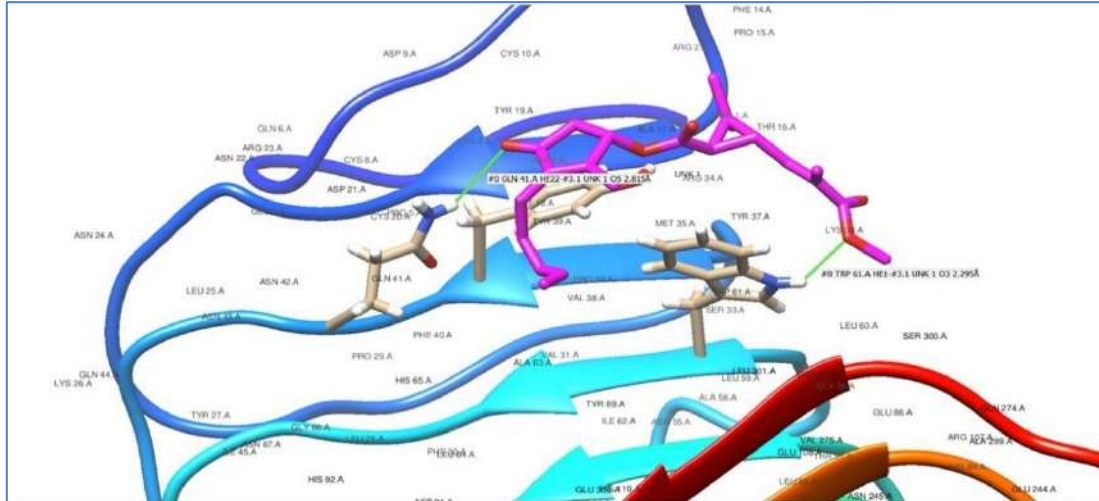


Figure 10. Fibromodulin and pyrethrin interactions

This study focused on the blood-brain barrier highlights the molecular interactions that occur between nanopesticides and proteins in a simulated environment. Additionally, the study demonstrates that different nanopesticides are capable of interacting with different molecules. The findings that were acquired from this investigation should be validated by means of a variety of other experimental experiments, as it is recommended. The current work is significant since it will throw light on future in vivo and in vitro investigations that will be conducted on this topic.

REFERENCES

- Abbott, N. J., Rönnbäck, L., & Hansson, E. (2006). Astrocyte–endothelial interactions at the blood–brain barrier. *Nature reviews neuroscience*, 7(1), 41-53.
- Agostini, A., Mondragón, L., Coll, C., Aznar, E., Marcos, M. D., Martinez-Manez, R., ... & Amorós, P. (2012). Dual enzyme-triggered controlled release on capped nanometric silica mesoporous supports. *ChemistryOpen*, 1(1), 17.
- Alam, M. I., Beg, S., Samad, A., Baboota, S., Kohli, K., Ali, J., ... & Akbar, M. (2010). Strategy for effective brain drug delivery. *European journal of pharmaceutical sciences*, 40(5), 385-403.
- An, L., Liu, S., Yang, Z., & Zhang, T. (2012). Cognitive impairment in rats induced by nano-CuO and its possible mechanisms. *Toxicology letters*, 213(2), 220-227.
- Bombo, A. B., Pereira, A. E. S., Lusa, M. G., de Medeiros Oliveira, E., de Oliveira, J. L., Campos, E. V. R., ... & Mayer, J. L. S. (2019). A mechanistic view of interactions of a nanoherbicide with target organism. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(16), 4453-4462.
- Chen, C., Zhang, G., Dai, Z., Xiang, Y., Liu, B., Bian, P., ... & Cai, D. (2018). Fabrication of light-responsively controlled-release herbicide using a nanocomposite. *Chemical Engineering Journal*, 349, 101-110.
- Conde, J., Dias, J. T., Grazú, V., Moros, M., Baptista, P. V., & de la Fuente, J. M. (2014). Revisiting 30 years of biofunctionalization and surface chemistry of inorganic nanoparticles for nanomedicine. *Frontiers in chemistry*, 2, 48.
- Czajka, M., Sawicki, K., Sikorska, K., Popek, S., Kruszewski, M., & Kapka-Skrzypczak, L. (2015). Toxicity of titanium dioxide nanoparticles in central nervous system. *Toxicology in vitro*, 29(5), 1042-1052.
- Demirel, F. (2021). In Silico Analysis of Protein Disulfide Isomerases in Soybean. *Journal of Agriculture*, 4(1), 48-56.
- Elder, A., Gelein, R., Silva, V., Feikert, T., Opanashuk, L., Carter, J., ... & Oberdörster, G. (2006). Translocation of inhaled ultrafine manganese oxide particles to the central nervous system. *Environmental health perspectives*, 114(8), 1172-1178.
- Fraceto, L. F., Grillo, R., de Medeiros, G. A., Scognamiglio, V., Rea, G., & Bartolucci, C. (2016). Nanotechnology in agriculture: which innovation potential does it have?. *Frontiers in Environmental Science*, 4, 186737.
- Georgieva, J. V., Kalicharan, D., Couraud, P. O., Romero, I. A., Weksler, B., Hoekstra, D., & Zuhorn, I. S. (2011). Surface characteristics of nanoparticles determine their intracellular fate in and processing by human blood–brain barrier endothelial cells in vitro. *Molecular Therapy*, 19(2), 318-325.

- Giaume, C., Koulakoff, A., Roux, L., Holcman, D., & Rouach, N. (2010). Astroglial networks: a step further in neuroglial and gliovascular interactions. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2), 87-99.
- Hanada, S., Fujioka, K., Inoue, Y., Kanaya, F., Manome, Y., & Yamamoto, K. (2014). Cell-based in vitro blood–brain barrier model can rapidly evaluate nanoparticles’ brain permeability in association with particle size and surface modification. *International journal of molecular sciences*, 15(2), 1812-1825.
- Kah, M., & Hofmann, T. (2014). Nanopesticide research: current trends and future priorities. *Environment international*, 63, 224-235.
- Kim, J. S., Yoon, T. J., Yu, K. N., Kim, B. G., Park, S. J., Kim, H. W., ... & Cho, M. H. (2006). Toxicity and tissue distribution of magnetic nanoparticles in mice. *Toxicological Sciences*, 89(1), 338-347.
- Kiyatkin, E. A., Brown, P. L., & Sharma, H. S. (2007). Brain edema and breakdown of the blood–brain barrier during methamphetamine intoxication: critical role of brain hyperthermia. *European Journal of Neuroscience*, 26(5), 1242-1253.
- Kuhlbusch, T. A., Wijnhoven, S. W., & Haase, A. (2018). Nanomaterial exposures for worker, consumer and the general public. *NanoImpact*, 10, 11-25.
- Lien, C. F., Mohanta, S. K., Frontczak-Baniewicz, M., Swinny, J. D., Zablocka, B., & Górecki, D. C. (2012). Absence of glial α -dystrobrevin causes abnormalities of the blood-brain barrier and progressive brain edema. *Journal of Biological Chemistry*, 287(49), 41374-41385.
- Liu, D., Lin, B., Shao, W., Zhu, Z., Ji, T., & Yang, C. (2014). In vitro and in vivo studies on the transport of PEGylated silica nanoparticles across the blood–brain barrier. *ACS applied materials & interfaces*, 6(3), 2131-2136.
- Oberdörster, G., Sharp, Z., Atudorei, V., Elder, A., Gelein, R., Kreyling, W., & Cox, C. (2004). Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. *Inhalation toxicology*, 16(6-7), 437-445.
- Osorio-Echavarría, J., Osorio-Echavarría, J., Ossa-Orozco, C. P., & Gómez-Vanegas, N. A. (2021). Synthesis of silver nanoparticles using white-rot fungus *Anamorphous Bjerkandera* sp. R1: Influence of silver nitrate concentration and fungus growth time. *Scientific Reports*, 11(1), 3842.
- Parveen, S., Misra, R., & Sahoo, S. K. (2017). Nanoparticles: a boon to drug delivery, therapeutics, diagnostics and imaging. *Nanomedicine in cancer*, 47-98.
- Patel, S., Bajpai, J., Saini, R., Bajpai, A. K., & Acharya, S. (2018). Sustained release of pesticide (Cypermethrin) from nanocarriers: an effective technique for environmental and crop protection. *Process safety and environmental protection*, 117, 315-325.

Pettersen EF, Goddard TD, Huang CC, Couch GS, Greenblatt DM, Meng EC, et al. UCSF Chimera—avisualization system for exploratory research and analysis. *Journal of computational chemistry*. 2004;25(13):1605–12.

Prasad, R., Bhattacharyya, A., & Nguyen, Q. D. (2017). Nanotechnology in sustainable agriculture: recent developments, challenges, and perspectives. *Frontiers in microbiology*, 8, 1014.

Sancaktaroğlu, S., Yıldırım, B., Ekici, K., & Demirel, F. (2023). Characterization of essential oil and in silico modelling perspectives of thyme (*Thymus eigii* M. Zohary et PH Davis) jals species. *Iğdır Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 1(2), 52-60.

Sanzari, I., Leone, A., & Ambrosone, A. (2019). Nanotechnology in plant science: to make a long story short. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7, 120.

Sarlak, N., Taherifar, A., & Salehi, F. (2014). Synthesis of nanopesticides by encapsulating pesticide nanoparticles using functionalized carbon nanotubes and application of new nanocomposite for plant disease treatment. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(21), 4833-4838.

Sharma, H. S., Ali, S. F., Hussain, S. M., Schlager, J. J., & Sharma, A. (2009). Influence of engineered nanoparticles from metals on the blood-brain barrier permeability, cerebral blood flow, brain edema and neurotoxicity. An experimental study in the rat and mice using biochemical and morphological approaches. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 9(8), 5055-5072.

Skalska, J., Frontczak-Baniewicz, M., & Strużyńska, L. (2015). Synaptic degeneration in rat brain after prolonged oral exposure to silver nanoparticles. *Neurotoxicology*, 46, 145-154.

Vigneshwaran, N., Kathe, A. A., Varadarajan, P. V., Nachane, R. P., & Balasubramanya, R. H. (2006). Biomimetics of silver nanoparticles by white rot fungus, *Phaenerochaete chrysosporium*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 53(1), 55-59.

Wu, J. R., Hernandez, Y., Miyasaki, K. F., & Kwon, E. J. (2023). Engineered nanomaterials that exploit blood-brain barrier dysfunction for delivery to the brain. *Advanced drug delivery reviews*, 197, 114820.

Wu, J., Ding, T., & Sun, J. (2013). Neurotoxic potential of iron oxide nanoparticles in the rat brain striatum and hippocampus. *Neurotoxicology*, 34, 243-253.

Yadav, R. K., Singh, N. B., Singh, A., Yadav, V., Bano, C., Khare, S., & Niharika. (2020). Expanding the horizons of nanotechnology in agriculture: recent advances, challenges and future perspectives. *Vegetos*, 33, 203-221.

Yalamalle, V. R., Tomar, B. S., Kumar, A., & Ahammed, S. T. (2019). Polymer coating for higher pesticide use efficiency, seed yield and quality in onion (*Allium cepa*). *Indian J. Agric. Sci*, 89, 1195-1199.

Zhang, Y., Chen, W., Jing, M., Liu, S., Feng, J., Wu, H., ... & Ma, Z. (2019). Self-assembled mixed micelle loaded with natural pyrethrins as an intelligent nano-insecticide with a novel temperature-responsive release mode. *Chemical Engineering Journal*, 361, 1381-1391.

Zielińska, A., Costa, B., Ferreira, M. V., Miguéis, D., Louros, J. M., Durazzo, A., ... & Souto, E. B. (2020). Nanotoxicology and nanosafety: Safety-by-design and testing at a glance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), 4657.

Zlokovic, B. V. (2008). The blood-brain barrier in health and chronic neurodegenerative disorders. *Neuron*, 57(2), 178-201.

ÇAMLIK MİLLİ PARKI (YOZGAT) EPİFİTİK LİKENLERİ

Öğrenci Merve Nur TANRIVERDİ

Yozgat Bozok Üniversitesi

tanriverdimerve.50@gmail.com- 0009-0003-5222-6837

Doç. Dr. Mustafa KOCAKAYA

Yozgat Bozok Üniversitesi

mustafa.kocakaya@bozok.edu.tr - 0000-0003-2306-8094

Öğr. Gör. Dr. Mehmet Ünsal BARAK

Yozgat Bozok Üniversitesi

mehmetu.barak@bozok.edu.tr - 0000-0002-2050-149X

Öğr. Gör. Dr. Esra Özge AYGÜL

Yozgat Bozok Üniversitesi

esra.ozge.aygul@bozok.edu.tr - 0000-0002-1274-8249

ÖZET

Likenler, bir mikobiyont ortağı (mantar) ile bir veya daha fazla fotobiyont ortağının (alg veya siyanobakteri) bir araya gelmesiyle oluşan simbiyotik organizmalardır. Bu simbiyotik birliktelikte yer alan alg ve mantar örnekleri ayrı olarak belirli çevresel sınırlar içinde gelişim gösterirler. Bu araştırma, Türkiye'nin ilk milli parkı olan Çamlık Milli Parkı'nda bulunan ağaçlar üzerinde gelişen epifitik likenleri incelemeyi amaçlamıştır. Çalışma kapsamında, 8 farklı lokalitede toplamda 32 epifitik liken ve 1 likenikol mantar tespit edilmiştir. Likenlerin teşhisinde stereomikroskop kullanılmış, örneklerden alınan kesitler ise anatomik incelemeler için ışık mikroskobu altında değerlendirilmiştir. Liken örneklerinin tayininde çeşitli makaleler ve teşhis anahtarlarından yararlanılmıştır. Ayrıca, çalışma alanında bulunan ağaç türleri üzerindeki epifitik tür çeşitliliği incelenmiş ve en fazla epifitik likenin *Pinus nigra* türü üzerinde olduğu belirlenmiştir. Liken türleri, büyüme formlarına göre değerlendirildiğinde ise ağaçlar üzerinde kabuksu liken türlerinin daha yaygın olduğu gözlemlenmiştir. Ülkemizin biyoçeşitliliğini anlamak ve doğal kaynaklarımızı değerlendirmek açısından bu tür araştırmalar son derece önemlidir. Likenlerin ekonomik değeri de oldukça fazladır. Boya sanayi, eczacılık, gıda sanayi, kozmetik, parfümeri ve tıp gibi çeşitli sektörlerde likenler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, ekonomik açıdan önemli olan türlerin belirlenmesi ve gelecekte bölge likenleri üzerinde yapılacak çalışmalar için önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyoçeşitlilik, Çamlık Milli Parkı, Liken, Yozgat

ÇAMLIK NATIONAL PARK (YOZGAT) EPIPHYTIC LICHENS

ABSTRACT

Lichens are symbiotic organisms formed by the association of a mycobiont partner (fungus) and one or more photobiont partners (algae or cyanobacteria). The algal and fungal specimens in this symbiotic association develop separately within certain environmental limits. This study aimed to investigate epiphytic lichens growing on trees in amlık National Park, the first national park of Turkey. Within the scope of the study, a total of 32 epiphytic lichens and 1 lichenicol fungi were identified in 8 different localities. Stereomicroscopy was used for the identification of the lichens, and the sections taken from the samples were evaluated under a light microscope for anatomical analyses. Various articles and identification keys were utilized in the identification of lichen samples. In addition, the diversity of epiphytic species on the tree species in the study area was analyzed, and it was determined that the most epiphytic lichens were found on *Pinus nigra*. When the lichen species were evaluated according to their growth forms, it was observed that crustose lichen species were more common on trees. Such research is extremely important in terms of understanding the biodiversity of our country and evaluating our natural resources. The economic value of lichens is also quite high. Lichens are frequently used in various sectors such as the paint industry, pharmacy, food industry, cosmetics, perfumery, and medicine. The results obtained from this study are important for the determination of economically important species and for future studies on the lichens of the region.

Keywords : Biodiversity, amlık National Park, Lichen, Yozgat

1. GİRİŞ

Dünya genelinde yaklaşık olarak 25000'den fazla liken ve likenikol mantar taksonunun olduğu bilinmektedir. Türkiye'de ise 2000'den fazla takson bulunmaktadır. Bu organizmalar, yüksek dağ zirvelerinden, kuru tozlu çöllere ve donmuş kutup tundralarına kadar tüm ekosistemlerde ve biyomlarda bulunur. Likenler, yaşadıkları habitat ve ekosistemlerde önemli ancak genellikle fark edilmeyen bir rol oynayan ilginç organizmalardır. Dünyada birçok farklı türleri bulunmaktadır. Toprak, ağaçlar, kaya ve hatta cam gibi çeşitli yüzeylerde bulunmaktadır. Özellikle buldukları habitatın iklimsel özelliklerine uyum sağladıkları için geniş bir çeşitlilik gösterirler (Walker, 2024).

Likenler yaşadıkları substratlara göre değişiklik gösterirler ve ifade edilirler. Çalışma konusu olan epifitik likenler, diğer bitki veya substratların yüzeyinde yaşayan ve bu yüzeylerden besin ve nem sağlayan organizmalardır. Bu liken türleri, ağaçlar, kaya yüzeyleri, diğer bitkilerin yaprakları gibi çeşitli substratlara tutunarak yaşarlar. Epifitik likenler, çevresel koşullara ve yaşadıkları ortama uyum sağlayarak birçok farklı habitat ve iklimde bulunurlar. Bu liken türleri, ekosistemlerde önemli bir rol oynar.

Türkiye likenleriyle ilgili çoğu çalışma genellikle floristik niteliktedir ve azı belirli biyotoplar veya substratlarla ilgilidir (Çobanoğlu ve Sevgi, 2006; Oran, 2008; Öztürk ve Güvenç, 2010; Aygül, 2023). Bu çalışmada sadece ağaçlar üzerinde bulunan epifitik likenlere odaklanılmıştır.

2. MATERYAL YÖNTEM

2.1. Arazi Çalışması

Çamlık Milli Parkı'nda, 05.01.2023 ile 06.02.2023 tarihleri arasında, toplam 8 farklı lokaliteden liken örnekleri toplanmıştır. Örneklerin toplanması sırasında bıçak, GPS cihazı, altimetre, kâğıt havlu, kese kağıtları, kalem, defter ve naylon torbalar gibi çeşitli araçlar kullanılmıştır. Liken örnekleri, araziden toplanırken ağaçlara zarar vermeden kabuklarından birer parça alınmıştır. Toplama işlemi sırasında tallus yapısına zarar vermemeye özen gösterilmiş; merkezi ve kenar yapılarının korunması sağlanmıştır. Toplanan örnekler, yumuşak havlulara sarılarak kese kağıtlarının içerisine yerleştirilmiştir. Lokalite bilgileri, yükseklik ve substrat özellikleri gibi detaylar arazi defterine kaydedilmiştir.

2.2. Getirilen örneklerin incelenmesi ve teşhisi

Tayin aşamasında OLYMPUS SZX10 marka stereomikroskop ve OLYMPUS BX53 marka ışık mikroskobu kullanılmıştır. Görüntülerin kaydedilmesi için OLYMPUS DP26 kameralı görüntüleme sistemi kullanılmıştır. Örneklerin mikroskopik özelliklerinin incelenmesi amacıyla preparatlar hazırlanmıştır. Tallus veya apotesyumdan kesitler alınarak su, potasyum hidroksit veya lügol çözeltilerinde hazırlanmıştır. Önemli özellikler, kameralı görüntüleme sistemi ve oküler mikrometre ile ölçülmüştür. Stereomikroskop altında morfolojik görüntüler kaydedilmiştir. Askoma yapısı, askus yapısı ve boyutu, spor sayısı, şekli ve boyutu, himenyum yüksekliği ile parafizlerin şekil ve yapısı gibi mikroskopik özellikler, askoma ve tallustan alınan kesitler ışık mikroskobu altında detaylı olarak incelenmiştir. Makroskopik ve mikroskopik görüntüler, kameralı görüntüleme sistemiyle kaydedilmiş ve ölçümler gerçekleştirilmiştir. Tür

düzeyinde teşhis işlemlerinde kimyasal reaksiyonlar için KOH (potasyum hidroksit), C (kalsiyum hipoklorit), Pd (Parafenilen diamin) ve I (Lügol) gibi çözeltiler kullanılmıştır (Orange vd., 2001).

Apotesyum, tallus, medulla ve gerektiğinde soralyumlara damlatılan reaktiflerle reaksiyon işaretiyle belirtilmiştir.

Çalışma alanında toplanılan likenlerin teşhis ve tayin işlemleri için çeşitli flora kitapları ve farklı tayin anahtarları kullanılmıştır (Ahti vd., 2013; Alstrup & Hawksworth, 1990; Arup vd., 2013; Breus, 1990; Brodo vd., 2001; Bungartz & Nash, 2004; Clauzade & Roux, 1985; Degelius, 1954; Giraldo, 2001; Hawksworth, 1981; Hawksworth, 1983; Grube & Hafellner, 1990; McCune, 2006; Nash, 2002; Otálora vd., 2014; Ozenda & Clauzade, 1970; Purvis vd., 2002; Smith vd., 2009; Timdal, 1991; Wetmore, 2005; Wirth, 1980; Wirth, 1995; Wunder, 1974).

3. SONUÇLAR

Çalışma Çamlık Milli Parkında 8 lokalitede gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda alandan 32 epifitik liken türü ve 1 likenikol mantar taksonu olmak üzere toplam 33 takson tespit edilmiştir. Tespit edilen 33 taksonun 30'u Yozgat yöresi için daha önce verilmiştir. *Lecania cyrtella*, *Ramalina farinacea* ve *Ramalina fraxinea* taksonları ise Yozgat ilinden ilk kez tespit edilerek biyoçeşitliliğe katkıda bulunulmuştur.

Çamlık MP'dan yapılan arazi çalışmaları lokalite bilgileri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Lokalite Bilgileri

No	Koordinatlar	Yükseklik (m)	Toplama tarihi
1	39° 48' 28.2" K 34° 48' 12.1" D	1450	05.01.2023
2	39° 48' 16.9" K 34° 48' 34.1" D	1500	05.01.2023
3	39° 48' 20.9" K 34° 48' 52.9" D	1515	05.01.2023
4	39° 48' 28.9" K 34° 49' 18.5" D	1445	05.01.2023
5	39° 48' 06.8" K 34° 48' 48.6" D	1615	06.02.2023
6	39° 47' 58.8" K 34° 47' 49.6" D	1470	06.02.2023
7	39° 47' 59.6" K 34° 48' 35.4" D	1640	06.02.2023
8	39° 48' 11.7" K 34° 48' 01.5" D	1475	06.02.2023

Çalışma alanı olan Çamlık Milli Parkından'ndan toplam 32 liken taksonu ve 1 likenikol mantar taksonu tespit edilmiştir. Bu türlerin listesi ile birlikte üzerinde buldukları substratları ve lokalite numaraları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Tespit edilen türlerin isimleri, lokalite numaraları ve substratları

Türler	Lokalite numarası	Substrat
<i>Caloplaca herbidella</i> (Hue) H. Magn.	2, 5	<i>Pinus nigra</i>
<i>Candelariella aurella</i> (Hoffm.) Zahlbr.	2	<i>Pinus nigra</i>
<i>Candelariella vitellina</i> (Hoffm.) Müll. Arg.	1, 2, 7	<i>Pinus nigra</i>
<i>Candelariella xanthostigma</i> (Ach.) Lettau	7	<i>Pinus nigra</i>
<i>Cercidospora xanthoriae</i> (Wedd.) R. Sant.	3	<i>Xanthoria parietina</i>
<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach.	1, 4, 5,6, 7	<i>Pinus nigra, Quercus pubescens</i>
<i>Glaucomaria carpineae</i> (L.) S.Y. Kondr., Lökös & Farkas	3	<i>Pinus nigra</i>
<i>Hypocenomyce scalaris</i> (Ach.) M. Choisy	4	<i>Pinus nigra</i>
<i>Hypogymnia farinacea</i> Zopf	5, 7, 8	<i>Pinus nigra, Quercus pubescens</i>
<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	3	<i>Pinus nigra</i>
<i>Hypogymnia tubulosa</i> (Schaer.) Hav.	5	<i>Pinus nigra</i>
* <i>Lecania cyrtella</i> (Ach.) Th. Fr.	5	<i>Pinus nigra, Quercus pubescens</i>
<i>Lecanora argentata</i> (Röhl.) Malme	8	<i>Pinus nigra, Quercus pubescens</i>
<i>Lecanora chlarotera</i> Nyl.	6	<i>Pinus nigra</i>
<i>Lecanora horiza</i> (Ach.) Nyl.,	3	<i>Populus tremula</i>
<i>Lecidella elaeochroma</i> (Ach.) M. Choisy	1, 2, 5, 8	<i>Pinus nigra, Quercus pubescens</i>
<i>Lepra amara</i> (Ach.) Hafellner	5	<i>Pinus nigra, Quercus pubescens</i>
<i>Letharia vulpina</i> (L.) Hue	7	<i>Pinus nigra</i>

Çizelge 3.2. Tespit edilen türlerin isimleri, lokalite numaraları ve substratları (devam)

Türler	Lokalite numarası	Substrat
<i>Melanohalea exasperata</i> (De Not.) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D. Hawksw. & Lumbsch	5	<i>Pinus nigra</i>
<i>Melanohalea exasperatula</i> (Nyl.) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D. Hawksw. & Lumbsch	7	<i>Pinus nigra</i>
<i>Parmelina tiliacea</i> (Hoffm.) Hale	4, 7	<i>Pinus nigra</i>
<i>Phycia adscendens</i> H. Olivier	2, 3	<i>Pinus nigra</i>
<i>Phycia biziana</i> (A. Massal.) Zahlbr.	5	<i>Pinus nigra</i>
<i>Phycia stellaris</i> (L.) Nyl.	1, 2	<i>Pinus nigra, Quercus pubescens</i>
<i>Phycia tenella</i> (Scop.) DC.	5	<i>Pinus nigra, Quercus pubescens</i>
<i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	<i>Pinus nigra, Quercus pubescens, Populus tremula</i>
* <i>Ramalina farinacea</i> (L.) Ach.	2, 5	<i>Pinus nigra, Quercus pubescens</i>
* <i>Ramalina fraxinea</i> (L.) Ach.	3, 4	<i>Pinus nigra</i>
<i>Ramalina polymorpha</i> (Lilj.) Ach.	5	<i>Pinus nigra, Quercus pubescens</i>
<i>Rinodina pyrina</i> (Ach.) Arnold	4	<i>Pinus nigra</i>
<i>Straminella varia</i> (Hoffm.) S.Y. Kondr., Lökös & Farkas	6	<i>Pinus nigra</i>
<i>Usnea filipendula</i> Stirt.	3, 5, 7, 8	<i>Pinus nigra</i>
<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr.	2, 5	<i>Pinus nigra, Quercus pubescens, Populus tremula</i>

TEŞEKKÜRLER

1919B012113675 No'lu 2209-A Öğrenci Araştırma Projeleri Destekleme Programı ile çalışmamıza maddi olarak destek sağlayan TÜBİTAK' a teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Ahti, Teuvo, Soili Stenroos, and Roland Moberg. *Nordic Lichen Flora, 5. Cladoniaceae*. Museum of Evolution, Uppsala University, 2013.
- Alstrup, Vagn, and David L. Hawksworth. "The Lichenicolous Fungi of Greenland." *Meddelelser om Grønland, Bioscience*, 31, 1990.
- Arup, Ulf, Ulf Söchting, and Patrik Frödén. "A New Taxonomy of the Family Teloschistaceae." *Nordic Journal of Botany*, 31, 1, 2013.
- Aygül, Emine Özdemir. *Çayıralan (Yozgat) Yöresinde Epifitik Liken Çeşitliliği ve Çevresel Faktörlerle İlişkileri*. Doktora tezi, 2023.
- Breuss, Otto. *Die Flechtengattung Catapyrenium in Europa. Stappfia*, 23, Linz, 1990.
- Brodo, Irwin M., Sylvia D. Sharnoff, and Stephen Sharnoff. *Lichens of North America*. Yale University Press, 2001.
- Bungartz, Frank, and Thomas H. Nash III. "The Buellia aethalea-group in the Greater Sonoran Desert Region with Reference to Similar Species in North America." *The Bryologist*, 107, 4, 2004.
- Clauzade, Georges, and Claude Roux. *Likenoj de Occidenta Europo*. Bulletin de la Societe Botanique du Centre Quest Nouvelle Serie – Numero Special, 7, Royan, 1985.
- Çobanoğlu, Gülten, and Osman Sevgi. "Elmalı Sedir Araştırma Ormanı (Antalya) Epifitik Liken Florası." *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 56, 1, 2006.
- Degelius, Gunnar. *The Lichen Genus Collema in Europe. Symbolae Botanicae Upsalienses*, 13, 2, 1954.
- Giralt, Mireia. *The Lichen Genera Rinodina and Rinodinella (Lichenized Ascomycetes, Physciaceae) in the Iberian Peninsula. Bibliotheca Lichenologica*, 79, 2001.
- Grube, Martin, and Josef Hafellner. "Studien an Flechtenbewohnenden Pilzen der Sammelgattung Didymella (Ascomycetes, Dothideales)." *Nova Hedwigia*, 51, 1990.
- Hawksworth, David L. "The Lichenicolous Coelomycetes." *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, Botany Series, 9, 1981.
- Hawksworth, David L. "A Key to the Lichen-Forming, Parasitic, Parasymbiotic and Saprophytic Fungi Occurring on Lichens in the British Isles." *The Lichenologist*, 15, 1983.
- McCune, Bruce. *Key to the Lichen Genera of the Pacific Northwest*. Department of Botany and Plant Pathology, Oregon State University, 2006.
- Nash, Thomas H., III. *Lichen Biology*. Cambridge University Press, 1996.
- Oran, Semra. "Epiphytic Lichen Diversity on *Fagus orientalis* Lipsky and *Fagus sylvatica* L. in the Marmara Region (Turkey)." 2008.
- Otálora, María A., Per Magnus Jørgensen, and Mats Wedin. "Revised Generic Classification of the Jelly Lichens, Collemataceae." *Fungal Diversity*, 64, 1, 2014.
- Ozenda, Pierre, and Georges Clauzade. *Les Lichens*. Masson et C, 1970.
- Öztürk, Şerife, and Şerafettin Güvenç. "Comparison of the Epiphytic Lichen Communities Growing on Various Tree Species on Mt. Uludağ (Bursa, Turkey)." *Turkish Journal of Botany*, 34, 5, 2010.

- Purvis, William O., et al. *The Lichen Flora of Great Britain and Ireland*. Natural History Museum Publications, 2002.
- Smith, Clifford W., et al. *The Lichens of Great Britain and Ireland*. British Lichen Society, 2009.
- Timdal, Einar. *A Monograph of the Genus Toninia (Lecideaceae, Ascomycetes)*. *Opera Botanica*, 110, 1991.
- von Linné, Carl. *Species Plantarum*. 2, Impensis Laurentii Salvii, 1753.
- Walker, Mark. *British Lichens Biology, Ecology, and Use as Bioindicators*. 2024.
- Wetmore, Clifford M. *Keys to the Lichens of Minnesota*. Department of Plant Biology, University of Minnesota, 2005.
- Wirth, Volkmar. *Flechten Flora*. Ulmer, 1980.
- Wirth, Volkmar. *Die Flechten Baden–Württembergs. Teil, 1–2*. Eugen GmbH & Co, Stuttgart, 1995.
- Wunder, Hermann. *Schwarzfrüchtige, Saxicole Sippen der Gattung Caloplaca (Lichenes, Teloschistaceae) in Mitteleuropa dem Mittelmeergebiet und Vorderasien*. *Bibliotheca Lichenologica*, Band 3, 1974.

DAĞ ANIĞI (*CYBOCARPUM ANETHOIDES* DC. EX CA.MEY.) YAPRAK ETANOL EKSTRAKTININ FARE KEMİK İLİĞİ HÜCRELERİNDE GENOTOKSİK- ANTİGENOTOKSİK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

⁸Doç. Dr. Pınar AKSU KILIÇLE

Kafkas Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, KARS

pinar-aksu@hotmail.com-ORCID ID: 0000-0002-3567-5775

ÖZET

Kars ve çevre yörelerde baharat olarak kullanılan Dağ anığı bitkisi *Cymbocarpum* cinsi ve *Apiaceae* familyasına aittir. Bu cinsin çeşitli türleri aşotu ve dağ anığı olarak bilinmektedir. Bu çalışmanın amacı, dağ anığı bitkisinin yapraklarından etanol ekstraktı çıkarılarak, alkilleyici bir ajan olan siklofosamid (CP)'nin genotoksik etkisine karşı olası genotoksik ve antijenotoksik etkilerini araştırmaktır.

Çalışmada *Mus musculus* albinos cinsi 3-4 aylık 48 adet erkek fare kullanıldı. Hayvanlar gruplarda sekiz fare olmak üzere altı gruba ayrıldı. 1. grup negatif kontrol grubu (distile su) (oral), 2. grup 50 mg/kg CP grubu (intraperitoneal), 3. grup 100 mg/kg dağ anığı (DA) ekstrakt grubu (oral), 4. grup 200 mg/kg dağ anığı ekstrakt grubu (oral). 5. grup 100 mg/kg DA ekstrakt (oral) + 50 mg/kg CP grubu (i.p), 6. grup 200 mg/kg DA ekstrakt (oral) + 50 mg/kg CP grubu olacak şekilde oluşturuldu. DA ekstraktı 14 gün boyunca uygulandı.

Çalışma sonunda Mikronükleuslu Polikromatik Eritrosit (MNPCE) sayılarının istatistiksel analizlerine göre CP uygulamasına bağlı olarak MNPCE sayılarının artış gösterdiği, CP ile DA uygulanan gruplarda ise uygulanan doza paralellik gösteren azalmalar meydana geldiği tespit edildi ($P<0.001$). Mitotik indeks değerlerinin istatistiksel analizlerine göre CP uygulamasına bağlı olarak Mitotik indeks seviyesinin düştüğü, CP ile 100-200 mg/kg DA uygulaması yapılan gruplarda ise doz artışına bağlı olarak artan etki düzeyinde Mitotik indeks seviyelerinin arttığı belirlendi ($P<0.001$).

Sonuç olarak; Dağ anığı ekstraktının 100-200 mg/kg dozlarının fare kemik iliği hücrelerinde herhangi bir genotoksik etki göstermediği, bununla birlikte siklofosamidin neden olduğu mikronükleus artışını doza bağlı olarak azalttığı, mitotik indeks oranını ise artırarak koruyucu etki gösterdiği belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Mikronükleuslu Polikromatik Eritrosit, Dağ anığı, Siklofosamid.

⁸ Doç. Dr. Pınar Aksu Kılıçle, Kafkas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kars/Türkiye, Orcid: 0000-0002-3567-5775, pinar-aksu@hotmail.com

1.GİRİŞ

Bitkiler, tarih boyunca çeşitli medeniyetler tarafından geleneksel tedavi yöntemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Gelişmekte olan ülkelerde, bitkisel droglar sentetik ilaçlara kıyasla daha ekonomik ve kolay erişilebilir olmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Geleneksel tedavi yöntemlerinde uzun bir geçmişe sahip olmaları, yan etkilerinin sentetik ilaçlara nazaran az olması, bu ürünlerin insanlar tarafından sıklıkla kullanılmasına katkı sağlamaktadır (Baytop, 1999; Baytop, 2001; Eroğlu, 2011).

Bitkilerin insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri, bitki kök, gövde, tohum, yaprak ve çiçek gibi kısımlarında farklı miktarlarda bulunan fenolik bileşiklerin; antialerjik, antimutajenik, antikarsinogenik, hipoglisemik, hipokolesterolemik, antienflamatuvar, antitrombotik, vazodilatör ve yatıştırıcı etkileri olarak sıralanabilir (Bortolotti ve ark., 2019).

İnsanlar yaşadıkları bölgedeki zengin bitki çeşitliliği sayesinde bitkilerle derin bir bağ kurmuştur. Kırsalda yaşayan insanlar genellikle bitkileri doğadan toplarlar. Şehirde yaşayan insanlar ise aktarlardan temin edilen bitkileri çeşitli sağlık amaçları için kullanmaktadırlar. Bu bitkilerin tıbbi alandaki kullanımı, halk arasında yaygın bir gelenek olarak devam etmektedir (Baytop, 1999).

Apiaceae familyasındaki bitkiler toplum tarafından sıkça kullanılmaktadır. Gastrointestinal rahatsızlıkların yanı sıra solunum, dolaşım ve ürogenital sistem hastalıklarının tedavisi amacıyla de tüketilmektedir. Apiaceae familyasındaki çeşitli bitkilerin yara üzerine uygulanan miktarları, böcek sokması, yanık, saç dökülmesi, siğil gibi bazı rahatsızlıkları tedavi edici özelliklerinin olduğu rapor edilmiştir (Heywood, 1971). Canlılar tarafından yenilen havuç, maydanoz gibi sebzelerin antibakteriyel ve antitümöral etkinlikleri çeşitli araştırmalarla rapor edilmiştir (Christensen ve Brandt, 2006).

Apiaceae familyasına ait bir bitki olan dağ anıği (*Cymbocarpum anethoides*), genellikle ilkbahar ve yaz aylarında aromatik özellikleri nedeniyle toplanmaktadır. Bu bitkinin yaş ve kurutulmuş kısımları, çeşitli yemeklerde tat verici baharat olarak kullanılır (Chamberlain, 1972; Nasiri ve ark., 2016).

Geleneksel olarak kullanılan birçok tıbbi bitki, yeni ilaçların keşfinde önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Bu bitkilerin farklı kısımlarından elde edilen çeşitli bileşikler, tıbbi ve bilimsel araştırmalarda büyük ilgi görmektedir. Özellikle etkinliği kanıtlanmış metabolitlerin tedavi edici ve antigenotoksik özellikleri, bu alandaki çalışmalarını daha da hızlandırmaktadır (Shabab ve ark., 2021). Tıbbi bitkilerin antigenotoksik etkileri, mutajenlerin neden olduğu genotoksik etkileri azaltmada etkili olabilir. Bu nedenle, pek çok bitki antigenotoksik özellikleri açısından değerli bir araştırma konusu olarak öne çıkmaktadır (Önen ve ark., 2017).

Bu çalışmanın amacı, Kars ve çevre yörelerde baharat olarak kullanılan ve üzerinde yeterince çalışma olmayan Dağ anıği bitkisinin yapraklarından etanol ekstraktı çıkarılarak, alkilleyici

bir ajan olan siklofosamid (CP)'nin genotoksik etkisine karşı olası genotoksik ve antigenotoksik etkilerini araştırmaktır.

2.DENEYSEL ÇALIşMALAR

2.1.Bitki Materyali ve Ekstraksiyonu

Dağ anığı bitki örnekleri Kars ili Kağızman ilçesi Kötek köyü (40,21856°K, 43,01291° D) civarından 2022 yılı Nisan ve Mayıs aylarında toplandı. Bitki teşhisi için dağ anığı bitkisinin kök, gövde, yaprak, tohum ve çiçek kısımları toplandı. Toplanan bitki örnekleri Kafkas Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü laboratuvarına getirildi. Bitkinin teşhisi Trakya Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Farmasötik Botanik Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Fatma Güneş tarafından yapıldı. Teşhis edilen bitki Trakya Üniversitesi Eczacılık Fakültesi herbaryumunda 4364 numara ile kayıt altına alındı. Halk arasında baharat ve gıda olarak kullanılan bitkinin yenilen kısımları (yaprak), karanlık, ışık almayan ve hava sirkülasyonu olan bir ortamda kurutuldu. Kuruyan bitki örnekleri öğütücü (IKA A11 Staufen, Germany) yardımı ile öğütüldü. Öğütülen bitki örneği Soxhlet cihaz kartuşuna alınarak etanol ile çözücü berraklaşana kadar (10 saat) ekstrakte edildi. Elde edilen sıvı ekstrakt <2 µm gözenek boyutuna ve 110 mm çapa sahip filtre kağıtları (Grade 589/3, Whatman, İngiltere) kullanılarak filtrelendi. Filtrelenen ekstrakt örneği, 35–45 °C'de rotary evaporatör yardımı ile etanolü uzaklaştırıldı. Elde edilen dağ anığı ekstraktı 4 °C'de saklandı (Wang ve ark., 2006; Uluman ve Aksu-Kilicle, 2020).

2.2.Deney Hayvanları

Bu çalışmada daha önce herhangi bir çalışmada kullanılmamış 48 adet 3-4 aylık *Mus musculus* (albino) erkek fare kullanıldı. Çalışmada kullanılan fareler 22 ± 3°C ortam sıcaklığında, oniki saat ışıklı, oniki saat ışısız ortamda belirli barınaklarda barındırılıp 15 günlük alıştıırma süreci için standart yem ve su ile beslendi. 15 gün sonunda hayvanlar deney gruplarında belirtildiği gibi oluşturuldu. Bu çalışma Kafkas Üniversitesi Hayvan Deneyleleri Yerel Etik Kurulu (KAU-HADYEEK) tarafından 22.02.2022 tarihli ve 2022/02 sayılı izni ile yapıldı.

2.3.Deney Grupları

1. GRUP (8): Negatif kontrol. Diğer gruplarda bulunan deney hayvanları gibi kafes içerisinde ve uygulama sırasında yaşadıkları stresi eşit tutmak için ondörtgün boyunca distile su oral yolla verildi.

2. GRUP (8): 50 mg/kg siklofosamid. Bu gruptaki farelere 50 mg/kg siklofosamid ondördüncü gün intraperitoneal yol ile verildi. Onbeşinci gün eter anestezisi altında servikal dislokasyon yapıldı (siklofosamidin yirmidört saatlik etkisine bakıldı) (Ahmadi ve ark., 2008).

3. GRUP (8): 100 mg/kg dağ anığı ekstraktı. Bu gruptaki farelere 100 mg/kg dağ anığı ekstraktı ondört gün boyunca oral yolla verildi. Onbeşinci gün eter anestezisi altında servikal dislokasyon yapıldı.

4. GRUP (8): 200 mg/kg dağ anığı ekstraktı. Bu gruptaki farelere 200 mg/kg dağ anığı ekstraktı ondört gün boyunca oral gavaj yol ile verildi. Onbeşinci gün eter anestezisi altında servikal dislokasyon yapıldı.

5. GRUP (8): 100 mg/kg dağ anığı ekstraktı + 50 mg/kg siklofosfamid. Bu gruptaki farelere 100 mg/kg dağ anığı ekstraktı ondörgün boyunca oral yolla verilip, ondördüncü günün sonunda 50 mg/kg dozda siklofosfamid intraperitoneal yolla verildi. Onbeşinci gün eter anestezisi altında servikal dislokasyon yapıldı.

6. GRUP (8): 200 mg/kg dağ anığı ekstraktı + 50 mg/kg siklofosfamid. Bu gruptaki farelere 200 mg/kg dağ anığı ekstraktı oral yolla ondörtgün verilip, ondördüncü günün sonunda 50 mg/kg dozda siklofosfamid intraperitoneal yolla verildi. Onbeşinci gün eter anestezisi altında servikal dislokasyon yapıldı (Chandrakar ve Raja, 2018).

2.4. MN (Mikronükleus Testi)

Çalışmada mikronükleus tespitinde farelerin bir femuru çıkarılarak kemik iliği kullanıldı. Femur kemiği iki ucundan kesilerek, kemik iliği enjektör yardımı ile içerisinde 3 ml dana serumu bulunan santrifüj tüpüne aktarılıp, içerisinde kemik iliği numunesi bulunan tüpler 2000 rpm' de 5 dakika santrifüj edilerek süpernatantları atıldı. Tüpte kalan kısmın üzerine bir damla dana serumu konularak süspansiyon edilip, lamlar üzerine yayıldı. Yayma işleminden sonra metil alkolde 10 dakika fikse edildi. İlk kez Schmid tarafından geliştirilen kemik iliği preparatları, laboratuvar ve çalışma koşullarımıza göre uyarlanan bir yöntem ile hazırlandı. Fikse edilmiş preparatlar ilk önce % 0,25'lik May Grunwald boyası ile 5 dakika, daha sonra % 0,125'lik May Grunwald boyası ile 5 dakika tekrar boyandıktan sonra % 20'lik Giemsa boyası ile 30 dakika boyandı. Her preparattan rastgele 1000 adet PCE sayıldı. Bunların içerisinde MNPCE' lerin sayıları belirlenerek, yüzdeleri çıkartıldı (Schmid, 1975).

2.5. Mitotik İndeks

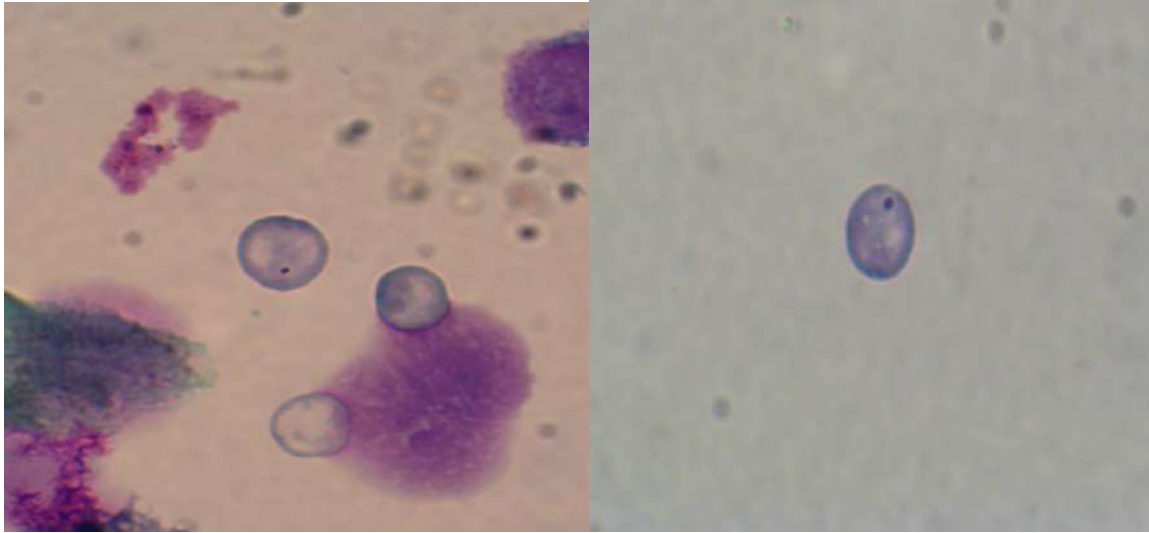
Çalışmada mikronükleus testinde olduğu gibi diğer femur kemiği çıkarılarak kemik iliği kullanıldı. Femur kemiği içeriği 5 ml kromozom medium bulunan deney tüplerine aktarıldı ve 1200 rpm' de santrifüj edildi. Süpernatant kısmı atıldı ve üzerine glasiel asetik asit ve metanolden hazırlanan carnoy fiksatif damlatıldı. Bu işlem üç kere tekrar edildikten sonra dipte kalan kısım lam üzerine yayılıp, % 10'luk giemsa boyası ile boyandı ve sayma işlemi yapıldı (Preston ve ark., 1987).

2.6.İstatistik

Çalışma sonucu verilerin istatistiksel olarak değerlendirmek için SPSS 22 programı kullanıldı. Grup içi normallik analizi için Shapiro Wilk-W Testi yapıldı. Gruplar arası kıyaslamalarda ise (One-way ANOVA) kullanıldı. Deney grupları arasındaki farklılığı tespit etmek amacı ile Tukey testi uygulandı. Sonucu $p < 0.05$ tespit edilen veriler anlamlı olarak belirlendi.

3.SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Mikronükleus bulguları

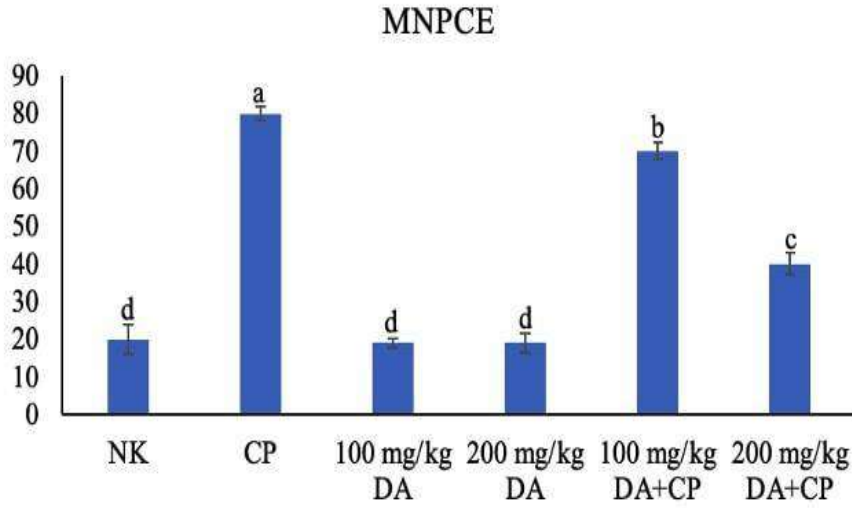


Görsel 1: Çalışma sonucu elde edilen mikronükleuslu polikromatik eritrosit (MNPCE) örnekleri

Çizelge 1: Belirlenen Grupların Fare Kemik İliği Hücrelerinde Mikronükleus Test Sonuçları

Gruplar	Toplam PCE	MNPCE	MNPCE (%)
Negatif kontrol.	1000	20	2
50 mg/kg siklofosamid (CP).	1000	80	8
100 mg/kg dağ anıği yaprak ekstraktı.	1000	19	1.9
200 mg/kg dağ anıği yaprak ekstraktı.	1000	19	1.9
100 mg/kg dağ anıği yaprak ekstraktı + 50 mg/kg CP.	1000	70	7
200 mg/kg dağ anıği yaprak ekstraktı + 50 mg/kg CP	1000	40	4

Mikronükleus testi sonucunda; mikronükleuslu polikromatik eritrosit (MNPCE) sayılarının istatistiksel analizlerine göre CP uygulamasına bağlı olarak MNPCE sayılarının artış gösterdiği, CP ile birlikte DA uygulanan gruplarda ise uygulanan doza paralellik gösteren azalmalar meydana geldiği tespit edilmiştir ($P<0.001$) (Görsel 2).



Görsel 2: Kontrol ve deney gruplarına ait mikronükleus sonuçları

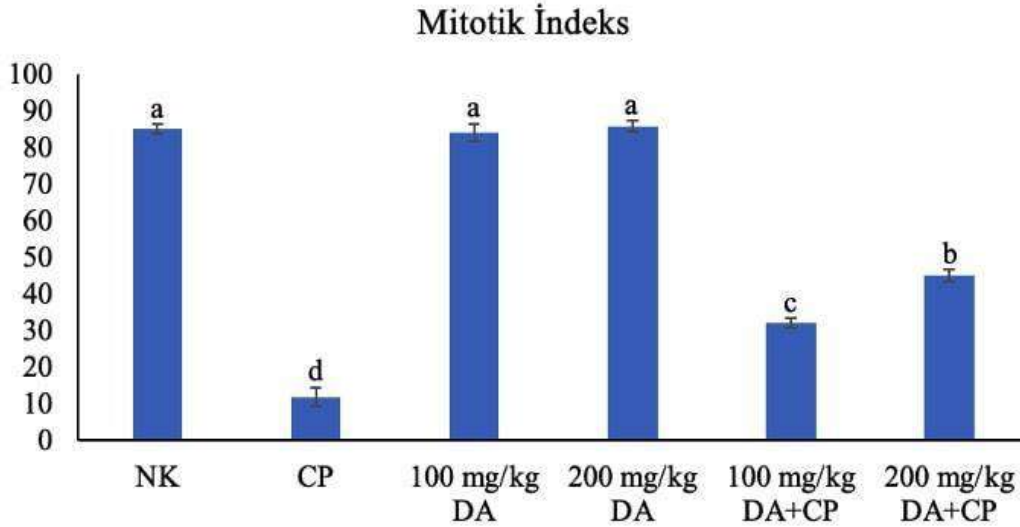
3.2. Mitotik İndeks Bulguları

Çizelge 2: Kontrol ve Deney Gruplarının Fare Kemik İliği Hücrelerinde Mitotik Aktivite Oranları

Gruplar	Toplam Hücre	Metafaz Hücre Sayısı	MNPCE (%)
Negatif kontrol.	1000	85	8.5
50 mg/kg siklofosfamid (CP).	1000	12	1.2
100 mg/kg dağ anığı yaprak ekstraktı.	1000	84	8.4
200 mg/kg dağ anığı yaprak ekstraktı.	1000	86	8.6
100 mg/kg dağ anığı yaprak ekstraktı + 50 mg/kg CP.	1000	32	3.2
200 mg/kg dağ anığı yaprak ekstraktı + 50 mg/kg CP	1000	45	4.5

Çalışma sonucunda elde edilen metafaz hücreleri sayılarak yüzdeleri çıkarıldı. Buna göre mitotik indeks değerlerinin istatistiksel analizlerine neticesinde CP uygulamasına bağlı olarak

Mitotik indeks seviyesinin düştüğü, CP ile birlikte 100-200 mg/kg DA uygulanan gruplarda ise doz artışına bağlı olarak artan etki düzeyinde Mitotik indeks seviyelerinin artış gösterdiği belirlenmiştir ($P<0.001$). Ayrıca tek başına uygulanan dağ anığı bitki grupları (100-200 mg/kg DA negatif kontrole göre değişiklik göstermeyip, genotoksik etkili olmadığı tespit edilmiştir (Görsel 3).



Görsel 3: Kontrol ve deney gruplarına ait mitotik indeks sonuçları

4.GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Cymbocarpum cinsi İran, Kafkasya ve Türkiye’de yayılış göstermektedir. Boisser, kitabında bu cinste dört tür (*C. anethoides*, *C. erythraeum* (DC.) Boiss., *C. marginatum* Boiss. ve *C. wiedemanni* Boiss) olduğunu belirtmiştir (Boissier, 1872). sonra Rechinger, Amanos Dağları’ndan (Türkiye) *C. amanum* Rech.f’yi tanımlayarak cinste ki tür sayısını beşe çıkarmıştır. Chamberlain ise Flora of Turkey adlı kitabında Türkiye’de üç kesin (*C. amanum*, *C. anethoides*, *C. Wiedemanni*) ve biri şüpheli (*C.erythraeum*) olmak üzere dört tür kaydetmiştir (Chamberlain, 1972). Davis ve arkadaşları da *C. erythraeum* Boiss’in varlığını doğrulamışlardır (Davis, 1988).

Günümüzde kullanılan birçok nitrojen mustard türevi vardır ve siklofosfamid bunlardan biridir (Kurauchi ve ark., 2017). Siklofosfamid, antineoplastik ve immüno-supresif aktivitelere sahip olan nitrojen mustard türevi, alkile edici sitostatik bir ajandır (Kim ve Chan, 2017; Helsby ve ark., 2019; Saxena ve ark., 2020).

Yapılan çalışmada; siklofosfamidin genotoksik etkisine karşı dağ anığı bitkisinin antigenotoksik etkileri belirlenmiştir. Ayrıca dağ anığı bitki ekstraktının genotoksik etkili

olmadığı buna karşın antijenotoksik etki gösterdiği tespit edilmiştir. Söz konusu bitki üzerine herhangi bir genotoksik ve antijenotoksik çalışma yoktur. Bu nedenle çalışma sonuçlarımız dağ anığı bitkisinin bulunduğu familyaya ait diğer bitkiler üzerinden kıyaslama yapılmıştır.

Çalışmada, siklofosfamid uygulamasına bağlı olarak mikronükleus sayılarının artış gösterdiği, siklofosfamid ile dağ anığı uygulanan gruplarda ise uygulanan doza paralellik gösteren azalmalar meydana geldiği tespit edilmiştir ($P < 0.001$). Ayrıca, Mitotik indeks değerlerinin istatistiksel analizlerine göre siklofosfamid uygulamasına bağlı olarak Mitotik indeks seviyesinin düştüğü, siklofosfamid ile 100-200 mg/kg dağ anığı uygulaması yapılan gruplarda ise doz artışına bağlı olarak artan etki düzeyinde Mitotik indeks seviyelerinin artış gösterdiği belirlenmiştir ($P < 0.001$).

Talapatra ve ark. *Coriandrum sativum* sulu ekstraktının *Channa punctatus* periferik eritrositlerinde metronidazol kaynaklı genotoksositeye karşı terapötik etkinliğini araştırdıkları çalışmada metronidazole'nin, *C. punctatus*'un periferik eritrositlerinde önemli derecelerde mikronükleus ve çift çekirdek oluşumu üretebildiğini ve MTZ tedavisinin bu tür zararlı etkisinin, *C. sativum* yapraklarının sulu ekstraktı ile hafifletilebileceğini ileri sürmüşlerdir (Talapatra ve ark., 2010).

Kışniş (*Coriandrum sativum*), Meksika diyetinde yer alan ve genellikle pişmeden tüketilen yaygın bir bitkidir. Kışniş suyunun 4-nitro- o- fenilendiamin, m- fenilendiamin ve 2-aminoflorenin mutajenik aktivitesine karşı antimutajenik aktivitesi, gösterge olarak *S. typhimurium* TA98 suşu ile Ames reversiyon mutajenite deneyi kullanılarak araştırıldı. Sonuç olarak bu bitkinin antijenotoksik ve genotoksik etkilerinin olmadığı tespit edilmiştir (Cortes-eslava ve ark., 2004).

Yapılan bir çalışmada, sulu rezene ekstraktının *Allium sepa*'nın meristematik hücrelerinde kromozomal hasara bağlı mikronükleus oluşumunu mitotik bölünmeyi ve genotoksik etkileri önemli ölçüde inhibe ettiği rapor edilmiştir (Deabreu ve ark., 2019).

Yapılan literatür taramaları sonucunda Apiacea familyasında bulunan çeşitli türlerin antijenotoksik etkili olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada dağ anığı bitkisinin aynı familyada bulunan diğer çalışmalarla kıyaslandığında benzer sonuçlar gösterdiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, halk arasında baharat olarak kullanılan dağ anığı bitkisinin genotoksik-antijenotoksik etkilerinin belirlenmesi çalışmanın özgünlüğü açısından son derece önemlidir. Günümüzde stratejik öneme sahip Sağlık sektöründeki AR-GE çalışmaları hastalıklarla mücadele, ortaya çıkan lezyonların geriletilmesi ve tedavisinin yanında son zamanlarda özellikle hastalıkların ortaya çıkmadan önce mücadele etme anlamında birçok araştırmaya ağırlık vermektedir. Bu anlamda doğal içerikli ve nanoteknoloji temelli madde üretimi, bunların canlının bünyesinde invitro ya da invivo uygulamaları ve bunlardan elde edilen bulguların önemi elde edilen sonuçların tedavi ve hastalık önleyici potansiyellerinin keşfi ile daha anlamlı bir hal almaktadır. Çalışmamızda bu bilgiler temelinde doğal içerikli

dağ anığı bitkisinin bileşenlerinin insanlarda kullanılabilirliğinin ve uygun dozlamaların seçilmesi ve terapotik potansiyelinin araştırılması için deney hayvanlarında oluşturduğu antigenotoksik etkinin ortaya konulduğu çalışmamızda, elde ettiğimiz bulgular sonucunda dağ anığı bitkisinin antigenotoksik potansiyeli ortaya konulmuştur. Terapotik potansiyeli yüksek doğal bileşenlerin canlı için kullanılabilirliğinin tespiti, bunların değerlendirilmesi, aynı zamanda etkili olacağı hastalıklarla mücadele ve bu hastalıkların tedavisi için gerekli olacak maliyetlerinde aşağı çekilmesinde ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır. Ayrıca yapılan bu çalışma ile daha sonraki yapılacak olan projelere ve çalışmalara katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 2022-FM-38 nolu proje ile Kafkas Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (KAÜ BAP) tarafından genel araştırma projesi olarak desteklenmiştir. Bu çalışmada maddi destek sağlayan KAÜ BAP'a teşekkür ederim.

5.KAYNAKÇA

Ahmadi, A., Hosseinimehr, SJ., Naghshvar, F., Hajir, E., Ghahremani. M. Chemoprotective Effects of Hesperidin Against Genotoxicity Induced by Cyclophosphamide in Mice Bone Marrow Cells. Arch Pharm Res. 31(6):794-7, 2008.

Baytop, T., *Türk Eczacılık Tarihi*, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 2001.

Baytop, T., *Türkiye'de Bitkilerle Tedavi*, Nobel Tıp Kitabevi, İstanbul, 1999.

Boissier, E., (1872). *Cymbocarpum DC*. In: Boissier E, editor. Flora Orientalis, Vol. 2. Geneva, Switzerland, 1872.

Bortolotti, M., Mercatelli, D., Polito, L. Momordica Charantia, a Nutraceutical Approach for Inflammatory Related Diseases, Front Pharmacol, 10, 486, 2019.

Chamberlain, DF., Cymbocarpum DC. In: Davis PH, editor. Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Vol. 4. Edinburgh, 1972.

Chandrakar, R., Raja, W. Effect of Corriander Sativum Extract on Micronucleus Formation in Bone Marrow Cells of Swiss Albino Mice, European Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences, 5, 4, 465-468, 2018.

Christensen, LP., Brandt, K. Bioactive Polyacetylenes in Food Plants of the Apiaceae Family: Occurrence, Bioactivity and Analysis, Journal of pharmaceutical and biomedical analysis, 41(3), 683-693, 2006.

Cortés-Eslava, J., Gómez-Arroyo, S., Villalobos-Pietrini, R., Espinosa-Aguirre, JJ. Antimutagenicity of coriander (Coriandrum sativum) juice on the mutagenesis produced by plant metabolites of aromatic amines, Toxicology letters, 153(2), 283-292, 2004.

Davis, PH., Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Supplement). Vol. 10, Edinburgh University Press, Edinburgh, 1988.

De Abreu, JC., De Santana, RA., Luiz, SW., Silva, DR., Barbieri, RS., Da Costa, NMA. Effects Cytotoxic and Genotoxic of Aqueous Extract of Fennel (Foeniculum vulgare var. vulgare Mill.). Interdisciplinary Scientific Journal, 6, 1, 80, 2019.

Eroğlu-Özkan, E., *Drosanthe ve Taeniocarpium Seksiyonlarına ait bazı endemik Hypericum türlerinin kimyasal bileşimi ve biyolojik aktivite yönünden incelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.

Helsby, NA., Yong, M., Kan, M., Zoysa, JR., Burns, KE. The Importance of both CYP2C19 and CYP2B6 Germline Variations in Cyclophosphamide Pharmacokinetics and Clinical Outcomes, *Br J Clin Pharmacol*, 85(9): 1925-1934, 2019.

Heywood, VH. *The Biology and Chemistry of the Umbelliferae*. (No Title), 1971.

Kim, J., Chan, JJ. Cyclophosphamide in dermatology. *Australasian Journal of Dermatology*, 58, 1, 5- 17, 2017.

Kurauchi, K., Nishikawa, T., Miyahara, E., Okamoto, Y., Kawano, Y. Role of Metabolites of Cyclophosphamide in Cardiotoxicity. *BMC research notes*, 10, 1,1-10, 2017.

Nasiri, N., Shamkhani, H., Ghelichpour, Z., Mohammadi, M.A., Sonboli, A. Essential Oil Constituents of the Aerial Parts and Root of *Cymbocarpum anethoides* (Apiaceae) from Iran, *Natural Product Research*, 1-4, 2016.

Önen, Ö., Aksu-Kılıçle, P., Doğan, ANC. Baharat Olarak Kullanılan Bazı Bitki Ekstraktlarının Memeliler Üzerindeki Genotoksik-Antigenotoksik Etkileri, *Kafkas Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 103-115, 2017.

Preston, RJ., Dean, BJ., Galloway, S., Holden, H., McFee, AF., Shelby, M. Mammalian in vivo Cytogenetic Assays Analysis of Chromosome Aberrations in Bone Marrow Cells, *Mutation Research/Genetic Toxicology*, 189, 2, 157-165, 1987.

Saxena, AK., Kumar, A., Saxena, AK., Kumar A. Introduction of Cyclophosphamide, *Fish Analysis for Drug and Chemicals Mediated Cellular Toxicity*, 1-5,2020.

Schmid, W. The micronucleus test. *Journal of Mutation Research*, 31 (1): 9-15, 1975.

Shabab, S., Gholamnezhad, Z., Mahmoudabady, M. Protective effects of medicinal plant against diabetes induced cardiac disorder: A review, *Journal of Ethnopharmacology*, 265, 113328, 2021.

Talapatra, SN., Dasgupta, S., Guha, G., Auddy, M., Mukhopadhyay, A. Therapeutic Efficacies of *Coriandrum Sativum* Aqueous Extract Against Metronidazole-Induced Genotoxicity in *Channa Punctatus* Peripheral Erythrocytes, *Food and chemical toxicology*, 48(12), 3458-3461, 2010.

Uluman, E., Aksu-Kilicle, PA. The Investigation of The Possible Antigenotoxic in Vivo Effects of Pomegranate (*Punica Granatum* L.) Peel Extract on Mitomycin-C Genotoxicity, *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 44(2), 382-390, 2020.

Wang, L., Curtis, L., Weller, S. Recent Advances in Extraction of Nutraceuticals from Plants, *Trends in Food Science and Technology*,17 (6): 300-312, 2006.

FARE KEMİK İLİĞİ HÜCRELERİNDE MITOMİSİN-C NİN OLUŞTURDUĞU GENETİK HASARA KARŞI IŞKIN (*RHEUM RİBES L.*) EKSTRAKTININ OLASI KORUYUCU ETKİSİNİN MİKRONÜKLEUS TESTİ İLE BELİRLENMESİ

⁹Doç. Dr. Pınar AKSU KILIÇLE

Kafkas Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, KARS

pınar-aksu@hotmail.com-ORCID ID: 0000-0002-3567-5775

ÖZET

Işkın (*Rheum ribes L.*) (RR) Doğu Anadolu Bölgesinde yaygın olarak bulunan ve tüketilen, geleneksel tıpta ve farmakolojide antimikrobiyal, antiviral, antiinflamatuvar ve antiaging olarak kullanılan bir bitki türüdür.

Bu çalışma ile; Kars ili ve çevresinde sıklıkla tüketilen ışkın bitkisinin gövde kısımlarından etanol ekstraktı çıkarılarak, mitomisin-C (MMC)' nin farelerde oluşturduğu genotoksisteye karşı olası koruyucu etkisinin mikronükleus testi ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada *Mus musculus* albinos cinsi 42 adet erkek fare kullanıldı. Hayvanlar 6 gruba ayrıldı. 1. Negatif kontrol grubu (distile su) (oral), 2. 2mg/kg MMC grubu (i.p), 3. 200 mg/kg RR grubu (oral), 4. 400 mg/kg RR grubu (oral). 5. 200 mg/kg RR grubu (oral) + 2 mg/kg MMC grubu (i.p), 6. 400 mg/kg RR grubu (oral)+ 2 mg/kg MMC grubu (i.p) olacak şekilde oluşturuldu. RR 15 gün boyunca, MMC ise çalışma süresinin bitimine 24 saat kala uygulandı.

Çalışma sonuçları istatistiksel olarak değerlendirildiğinde; kontrol grubuna kıyasla MMC uygulanan gruplarda mikronükleuslu polikromatik eritrosit (MNPCE) sayılarının artış gösterdiği tespit edildi ($P<0.001$). Bununla birlikte MMC ile 200 mg/kg ve 400 mg/kg ışkın gövde ekstraktı uygulamasına bağlı olarak MNPCE sayılarının sadece MMC grubuna göre istatistiksel olarak önemli düzeyde anlamlı düşüş sergilediği belirlendi ($P<0.001$).

Sonuç olarak; ışkın gövde ekstraktının 200 mg/kg ve 400 mg/kg dozlarının fare kemik iliği hücrelerinde mikronükleus artışına neden olmadığı, MMC'nin neden olduğu mikronükleus artışını doza bağlı olarak azaltarak koruyucu etki gösterdiği belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Mikronükleus, *Rheum ribes L.*, Mitomisin-C.

⁹ Doç. Dr. Pınar Aksu Kılıçle, Kafkas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kars/Türkiye, Orcid: 0000-0002-3567-5775, pınar-aksu@hotmail.com

1.GİRİŞ

Geleneksel olarak tüketilen birçok tıbbi bitki, yeni ilaçların yapımında büyük önem taşımaktadır. Bu bitkilerin farklı kısımlarından pek çok bileşik ekstrakte edilmektedir. Bunlara; flavonoid ve tannin gibi çeşitli bileşikler örnek verilebilir (Şeker, 2016). Etki değerleri kanıtlanmış pekçok metaboliti olan bu bitkilerin terapötik ve antigenotoksik etkilerine yönelik ilgi giderek artmaktadır (Shabab ve ark., 2021).

Eski zamanlara bakıldığında, çeşitli bitkilerin insan yaşamında ciddi anlamda önemli olduğu kaydedilmiştir. İlk önceleri yiyecek, ısınma ve savunma için bitkilerden yararlanılmıştır. Bununla birlikte herhangi bir hastalıkla karşı karşıya kalındığında akla ilk gelen her zaman bitkiler olmuştur. Milattan önce 3000 yıllarında pekçok tarihi kalıntıdan bu durumun doğruluğu anlaşılmaktadır (Tanker ve ark., 1993).

Bitkilerin insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri, bitki kök, gövde, tohum, yaprak ve çiçek gibi kısımlarında farklı miktarlarda bulunan fenolik bileşiklerin; antialerjik, antimutajenik, antikarsinogenik, hipoglisemik, hipokolesterolemik, antienflamatuvar, antitrombotik, vazodilatör ve yatıştırıcı etkileri olarak sıralanabilir (Bortolotti ve ark., 2019).

Özellikle etkinliği kanıtlanmış metabolitlerin tedavi edici ve antigenotoksik özellikleri, bu alandaki çalışmaları daha da hızlandırmaktadır (Shabab ve ark., 2021). Tıbbi bitkilerin antigenotoksik etkileri, mutajenlerin neden olduğu genotoksik etkileri azaltmada etkili olabilir. Bu nedenle, pek çok bitki antigenotoksik özellikleri açısından değerli bir araştırma konusu olarak öne çıkmaktadır (Önen ve ark., 2017).

Rheum ribes L., Polygonaceae familyasına ait bir bitkidir (Kashiwada ve ark., 1988). Genellikle Lübnan, İran ve Türkiye'nin doğusunda yayılım göstermektedir. *R. ribes* yerel olarak 'ışgın, uşkun veya uçkun' olarak bilinmektedir. Polygonaceae familyası, 8 cins ve 70 türden oluşmaktadır. *R.ribes*, Türkiye'de coğrafi olarak uyum sağlayabilen tek Rheum türüdür (Davis, 1970; Öztürk ve ark., 2007). *R. ribes*, Türkiye'deki kayalık kırsal alanlarda 1800 ila 2800 metre yüksekliklerde yetişmektedir. *Rheum ribes* L. bitkisi Haziran ile Temmuz arasında çiçek açar ve tohumları temmuz ile ağustos arasında olgunlaşır. Bu tür genellikle yüksek rakımlı, kuru iklimdeki kaya zeminlerinde yetişebilen, rüzgarla polenleşen hermafrodit çiçeklere sahiptir. Ayrıca, diğer Rheum türleriyle melezlenebilmektedir. Çok soğuk hava koşullarına dayanabilir ve suyun donma noktasının 20 °C altına kadar hayatta kalabilirler. Ayrıca, düşük ışık, kuru veya ıslak topraklar gibi ekstrem koşullarda da yetişebilmektedirler (Andiç ve ark., 2009; Kaya ve ark., 2023). Taze gövde, yaprak ve petiyolleri genellikle çiğ ve pişmiş sebze olarak tüketilmektedir. Bu bitkinin kökleri İran'da laksatif ve antipsoriatik ilaç olarak kullanılmıştır (Krishnaiah ve ark., 2011). Türkiye'de ise idrar yolu iltihaplarında diüretik bir tedavi amacıyla kullanılmıştır (Cakilcioglu ve Türkoglu, 2010). Ayrıca Türkiye'de sindirime yardımcı ve iştah açıcı olarak da kullanılmaktadır (Öztürk ve ark., 2007). *Rheum ribes* kökleri, hipertansiyon, diyabet, obezite ve böbrek hastalıklarının tedavisinde kullanılmaktadır (Abu-Irmaileh ve Afifi, 2003). Ayrıca bitkinin ülser, ishal, hemoroid ve diyabet tedavisinde kullanıldığı ve antihelmintik ve balgam söktürücü özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir (Tabata ve ark., 1994).

Bu çalışmanın amacı, alkilleyici bir ajan olan Mitomisin-C (MMC)'nin genotoksik etkisine karşı ışkın gövde ekstraktının olası koruyucu etkilerini mikronükleus testi kullanarak araştırmaktır.

2.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1.Bitki Materyali ve Ekstraksiyonu

Işkın bitki örnekleri Kars ili Kağızman ilçesi Kötek köyü (40°13'39.8"N 42°59'55.2"E) civarından 2023 yılı Haziran ayında toplandı. Bitki teşhisi için ışkın bitkisinin kök, gövde, yaprak, tohum ve çiçek kısımları toplandı. Toplanan bitki örnekleri Kafkas Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Botanik Laboratuvarına getirilerek teşhis edildi. Halk arasında sıklıkla tüketilen gövde kısımları hava sirkülasyonu olan, karanlık bir ortamda kurutuldu. Kuruyan bitki örnekleri öğütücü (IKA A11 Staufen, Germany) yardımı ile öğütüldü. Öğütülen bitki örneği Soxhlet cihaz kartuşuna alınarak etanol ile çözücü berraklaşana kadar (10 saat) ekstrakte edildi. Elde edilen sıvı ekstrakt <2 µm gözenek boyutuna ve 110 mm çapa sahip filtre kağıtları (Grade 589/3, Whatman, İngiltere) kullanılarak filtrelendi. Filtrelenen ekstrakt örneği, 35–45 °C'de rotary evaporatör yardımı ile etanolü uzaklaştırıldı. Elde edilen ışkın ekstraktı 4 °C'de saklandı (Wang ve ark., 2006; Uluman ve Aksu-Kilicle, 2020).

2.2.Deney Hayvanları

Bu çalışmada daha önce herhangi bir çalışmada kullanılmamış 42 adet 3-4 aylık *Mus musculus* (albino) erkek fare kullanıldı. Çalışmada kullanılan fareler 22 ± 3°C ortam sıcaklığında, oniki saat ışıklı, oniki saat ışıksız ortamda belirli barınaklarda barındırılıp 15 günlük alıştırma süreci için standart yem ve su ile beslendi. 15 gün sonunda hayvanlar deney gruplarında belirtildiği gibi oluşturuldu. Bu çalışma Kafkas Üniversitesi Hayvan Deneyleleri Yerel Etik Kurulu (KAU-HADYЕК) tarafından 04.07.2024 tarihli ve 2024/06-143 sayı nolu izni ile yapıldı.

2.3.Deney Grupları

- 1. GRUP (7):** Negatif kontrol (oral, distile su).
- 2. GRUP (7):** 2 mg/kg Mitomisin-C (MMC) 15. gün intraperitoneal yol ile verilerek 24 saatlik etkisine bakıldı (Siddique ve Afzal, 2009).
- 3. GRUP (7):** 200 mg/kg RR. 15 gün boyunca verildi (oral). (Bati ve ark., 2023).
- 4. GRUP (7):** 400 mg/kg RR. 15 gün boyunca verildi (oral). (Bati ve ark., 2023).
- 5. GRUP (7):** 200 mg/kg RR + MMC. Bu gruptaki farelere 200 mg/kg RR 15 gün boyunca oral yol ile verildi. 15. günün sonunda 2 mg/kg MMC i.p. yol ile verilerek 16. gün deney sonlandırıldı.

6. GRUP (7): 400 mg/kg RR + MMC. Bu gruptaki farelere 400 mg/kg RR 15 gün boyunca oral yol ile verildi. 15. günün sonunda MMC 2 mg/kg dozda i.p. yol ile verilerek 16. gün deney sonlandırıldı.

2.4. MN (Mikronükleus Testi)

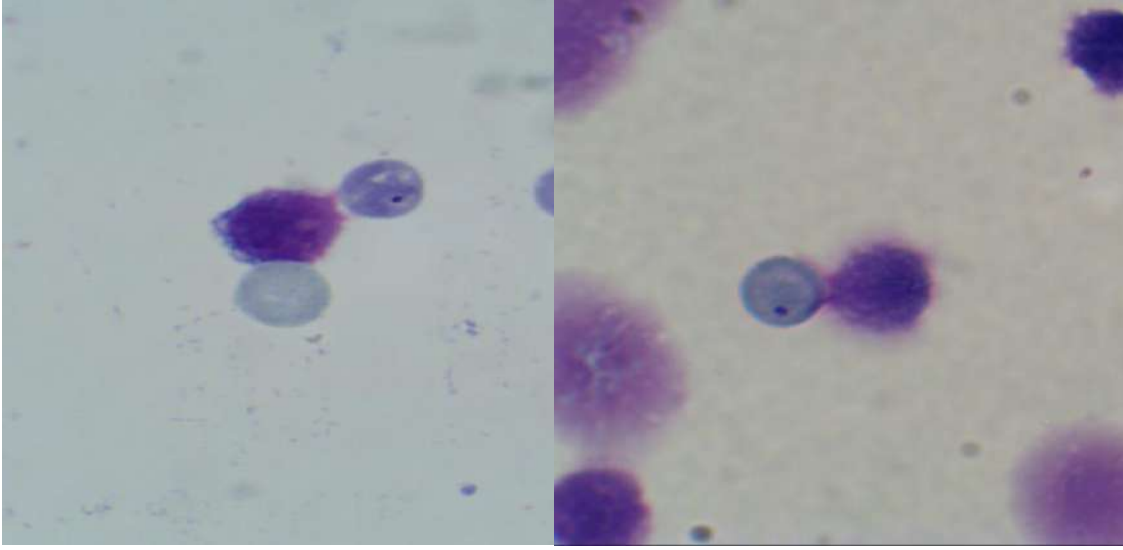
Çalışmada mikronükleus tespitinde farelerin bir femuru çıkarılarak kemik iliği kullanıldı. Femur kemiği iki ucundan kesilerek, kemik iliği enjektör yardımı ile içerisinde 3 ml dana serumu bulunan santrifüj tüpüne aktarılıp, içerisinde kemik iliği numunesi bulunan tüpler 2000 rpm' de 5 dakika santrifüj edilerek süpernatantları atıldı. Tüpte kalan kısmın üzerine bir damla dana serumu konularak süspanse edilip, lamlar üzerine yayıldı. Yayma işleminden sonra metil alkolde 10 dakika fikse edildi. İlk kez Schmid tarafından geliştirilen kemik iliği preparatları, laboratuvar ve çalışma koşullarımıza göre uyarlanan bir yöntem ile hazırlandı. Fikse edilmiş preparatlar ilk önce % 0,25'lik May Grunwald boyası ile 5 dakika, daha sonra % 0,125'lik May Grunwald boyası ile 5 dakika tekrar boyandıktan sonra % 20'lik Giemsa boyası ile 30 dakika boyandı. Her preparattan rastgele 1000 adet PCE sayıldı. Bunların içerisinde MNPCE' lerin sayıları belirlenerek, yüzdeleri çıkartıldı (Schmid, 1975).

2.5.İstatistik

Çalışma sonucu verilerin istatistiksel olarak değerlendirmek için SPSS 22 programı kullanıldı. Grup içi normallik analizi için Shapiro Wilk-W Testi yapıldı. Gruplar arası kıyaslamalarda ise (One-way ANOVA) kullanıldı. Deney grupları arasındaki farklılığı tespit etmek amacı ile Tukey testi uygulandı. Sonucu $p < 0.05$ tespit edilen veriler anlamlı olarak belirlendi.

3.SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Mikronükleus bulguları



Görsel 1: Çalışma sonucu elde edilen mikronükleuslu polikromatik eritrosit (MNPCE) örnekleri

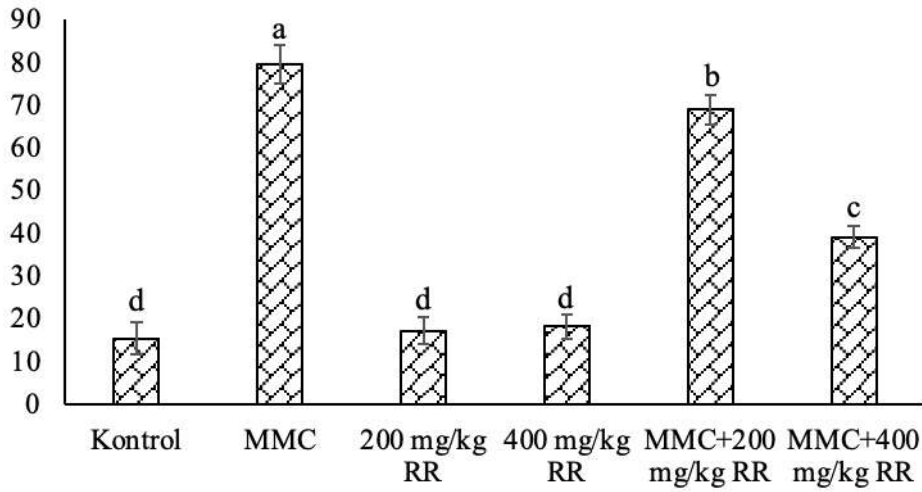
Çizelge 1: Belirlenen Grupların Mikronükleus Test Sonuçları

Kontrol	MMC	200 mg/kg RR	400 mg/kg RR	MMC+200 mg/kg RR	MMC+400 mg/kg RR
15.43 ± 3.82 ^d	79.71 ± 4.50 ^a	17.29 ± 3.20 ^d	18.29 ± 2.81 ^d	69.00 ± 3.51 ^b	39.14 ± 2.55 ^c

Aynı satırdaki farklı harfler istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir (P<0.001).

Çalışma sonunda veriler istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, kontrol grubuna kıyasla MMC ile ilgili gruplarda MNPCE sayılarının artış gösterdiği görülmektedir (P<0.001). Bununla birlikte MMC ile 200 mg/kg ve 400 mg/kg RR uygulamasına bağlı olarak MNPCE sayılarının sadece MMC grubuna göre istatistiksel olarak önemli düzeyde anlamlı düşüş sergilediği belirlenmiştir (P<0.001) (Çizelge 1, Görsel 2).

MNPCE Sayıları



Görsel üzerindeki farklı harfler istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir ($P < 0.001$).

Görsel 2: Mikronükleus sonuçları

4.GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yapılan çalışmada; MMC'nin genotoksik etkisine karşı ışkın bitkisinin antigenotoksik etkileri mikronükleus testi ile belirlenmiştir. Ayrıca ışkın bitki ekstraktının genotoksik etkili olmadığı buna karşın mikronükleus test sonucuna göre mikronükleus frekansını düşürücü etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Yapılan birçok in vivo ve invitro çalışmada ışkın bitkisinin antisitotoksik, antigenotoksik, antimutajenik ve antioksidan özellikleri kaydedilmiştir.

Demirkaya ve arkadaşları (2019), *Rheum ribes* L. bitkisinden izole ettikleri parietinin HepG2 hepatoselüler karsinom hücrelerinde sitotoksik ve genotoksik etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada parietinin düşük konsantrasyonlarda sitotoksik etkiye sahip olduğu ancak genotoksik etki göstermediği tespit edilmiştir. Ayrıca parietinin hepatoselüler karsinom tedavisinde yardımcı ajan olarak kullanılabileceği ileri sürülmüştür (Demirkaya ve ark., 2019).

Abudayyak (2019), *Rheum ribes* ekstraktlarının HepG2 insan hepatoselüler karsinoma hücre hatları üzerindeki potansiyel genotoksik etkisini araştırmıştır. Çalışmada sitotoksikite ve genotoksikiteyi değerlendirmek için su, kloroform ve metanol gibi çözücüler kullanarak çeşitli ekstraksiyon yöntemleri denenmiştir. Sitotoksik etkiler MTT ve NRU testleri ile, genotoksik potansiyel ise Comet testi ile değerlendirilmiştir. MTT testi sonucuna göre, su, kloroform ve metanol ekstraktları için IC50 değerleri sırasıyla 14.29 mg/mL, 33.67 mg/mL ve 31.94 mg/mL olarak belirlenmiştir. NRU testine göre su ve metanol ekstraktları için IC50 değerleri sırasıyla 21.15 mg/mL ve 27.66 mg/mL olarak tespit edilmiştir. Kloroform ekstraktları, en yüksek konsantrasyonda (50 mg/mL) %32.8 hücre ölümüne neden olarak orta derecede sitotoksikite

gösterdiği tespit edilmiştir. Comet testi sonuçlarına göre ise su ve kloroform ekstraktlarının DNA hasarına neden olmadığını, ancak metanol ekstraktının en yüksek konsantrasyonunun (50 mg/mL) HepG2 hücrelerinde DNA hasarını 8.7 kat artırdığı ileri sürülmüştür (Abudayyak, 2019).

Azadpour ve arkadaşları (2020), *Rheum ribes* L. özütünün kanser hücre hatları üzerindeki sitotoksik etkilerini (MTT testi ile) ve antibakteriyel ve mutajenite aktivitesini değerlendiren bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada sitotoksik etki değerlendirmesi için MTT testi, antibakteriyel aktivite değerlendirmesi için MBC ve MİK hesaplanması ve genotoksik (mutajenik) test potansiyeli için de Ames testi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, *Rheum ribes* L. özütlerinin kanser hücre hatları üzerinde sitotoksik ve bazı bakterilere karşı antibakteriyel etkiler göstermiştir. Ayrıca, bu özütün mutasyona ve DNA hasarına neden olmadığı belirtilmiştir (Azadpour ve ark., 2020).

Batı ve arkadaşları yüksek kalorili diyet ile obezite oluşturulan ratlarda ışığın (*Rheum ribes* L) biyokimyasal parametreler, antioksidan aktivite ve DNA hasarı üzerine olan etkisini incelemiştir. Yaptıkları çalışmada ışığın (*Rheum ribes*) DNA hasarını iyileştirdiğini ve farklı dokulardaki antioksidan parametre aktiviteyi üzerinde olumlu etkiler gösterdiğini ileri sürmüşlerdir (Batı ve ark., 2023).

Işkın bitkisinin ZnO nanopartikülleriyle etkileşimi ve bu bileşiğin antidiyabetik, antibakteriyel, DNA hasarı önleyici ve lipid peroksidasyon önleyici aktiviteleri üzerine yapılan bir çalışmada, ZnO nanopartikülleri ile etkileşen *Rheum ribes*'in biyokimyasal parametreleri, antioksidan aktivitesi ve DNA hasarı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma, ZnO nanopartikülleriyle etkileşen *Rheum ribes*'in lipid peroksidasyonunu % 89.10 oranında inhibe ettiğini, DNA hasarını %92.12 oranında engellediğini ve antidiyabetik etkilerinin belirgin olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bu bileşiğin Gram-pozitif ve Gram-negatif mikroorganizmalar üzerinde antibakteriyel aktivite gösterdiği de belirlenmiştir (Meydan ve ark., 2022).

Sonuç olarak, halk arasında sebze olarak kullanılan ışkın bitkisinin genotoksik-antigenotoksik etkilerinin belirlenmesi çalışmanın özgünlüğü açısından son derece önemlidir. Çalışmamızda doğal içerikli ışkın bitkisinin uygun dozlamaların seçilmesi ve terapötik potansiyelinin araştırılması için deney hayvanlarında elde ettiğimiz bulgular sonucunda ışkın bitkisinin antigenotoksik potansiyeli ortaya konulmuştur. Terapötik potansiyeli yüksek doğal bileşenlerin canlı için kullanılabilirliğinin tespiti, bunların değerlendirilmesi, aynı zamanda etkili olacağı hastalıklarla mücadele ve bu hastalıkların tedavisi için gerekli olacak maliyetlerinde aşağı çekilmesinde ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır. Ayrıca yapılan bu çalışma ile daha sonraki yapılacak olan projelere ve çalışmalara katkı sağlayacaktır.

5.KAYNAKÇA

- Abu-Irmaileh, BE., Afifi, F.U. Herbal Medicine in Jordan with Special Emphasis on Commonly Used Herbs, *Journal of ethnopharmacology*, 89, 2-3, 193–197, 2003.
- Abudayyak, M. In vitro Evaluation of *Rheum Ribes* Induced Genotoxicity in Hepg2 Cell Lines, *Istanbul Journal of Pharmacy*, 49, 3, 132-136, 2019.
- Andiç, S., Tunçtürk, Y., Ocak, E., Köse, S. Some Chemical Characteristics of Edible Wild Rhubarb Species (*Rheum Ribes* L.), *Res J Agric Biol Sci* 5:973–977, 2009.
- Azadpour, M., Farajollahi, M. M., Varzi, A. M., Hadipour, F., Barati, M. The Evaluation of Cytotoxicity Effects of *Rheum Ribes* L. (Rubarb) Extract on Cancer Cell Lines and Its Antibacterial and Mutagenicity Activity, *Entomology and Applied Science Letters*, 7-12, 2020.
- Bati, B., Celik, I., Turan, A., Eray, N., Alkan, EE., Zirek, AK. Effect of Isgin (*Rheum Ribes* L.) on Biochemical Parameters, Antioxidant Activity and DNA Damage in Rats with Obesity Induced with High-Calorie Diet, *Archives of Physiology and Biochemistry*, 129,2, 298-306, 2023.
- Bortolotti, M., Mercatelli, D., Polito, L. Momordica Charantia, a Nutraceutical Approach for Inflammatory Related Diseases, *Front Pharmacol*, 10, 486, 2019.
- Cakilcioglu, U., Turkoglu, I. An Ethnobotanical Survey of Medicinal Plants in Sivrice (Elazığ-Turkey), *J. Ethnopharmacol.*, 132,1, 165–175, 2010.
- Davis, PH. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, 3, 1970.
- Demirkaya, AK., Gündoğdu, G., Dodurga, Y., Seçme, M., Gündoğdu, K. Parietinin Hepg2 Hepatoselüler Karsinom Hücrelerinde Sitotoksik ve Genotoksik Etkisinin Belirlenmesi, *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 14,1, 29-37, 2019.
- Kashiwada, T., Nonaka, Y., Nishioka, G., Yamagishi, I. Galloyl and Hydroxycinnamoyl Glucoses from Rhubarb, *Phytochemistry*, 27, 1473–1477, 1988.
- Kaya, H., Tokgöz, H. B., Unal, R., Altan, F. The Effects of the *Rheum Ribes* Plant Extract on Inflammation, Extracellular Matrix Remodeling, and Obesity Suggest a Therapeutic Potential, *Molecular Biology Reports*, 50,6, 5223-5232, 2023.
- Krishnaiah, D., Sarbatly, R., Nithyanandam, R. A Review of the Antioxidant Potential of Medicinal Plant Species, *Food and bioproducts processing*, 89,3, 217-233, 2011.
- Meydan, I., Burhan, H., Gür, T., Seçkin, H., Tanhaei, B., Sen, F. Characterization of *Rheum Ribes* with ZnO Nanoparticle and Its Antidiabetic, Antibacterial, DNA Damage Prevention and Lipid Peroxidation Prevention Activity of in vitro, *Environmental Research*, 204, 112363, 2022.
- Önen, Ö., Aksu-Kılıçle, P., Doğan, ANC. Baharat Olarak Kullanılan Bazı Bitki Ekstraktlarının Memeliler Üzerindeki Genotoksik-Antigenotoksik Etkileri, *Kafkas Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 103-115, 2017.
- Öztürk, M., Aydoğmuş-Öztürk, F., Duru, M. E., Topçu, G. Antioxidant Activity of Stem and Root Extracts of Rhubarb (*Rheum Ribes*): an Edible Medicinal Plant, *Food chemistry*, 103,2, 623-630, 2007.
- Schmid, W. The Micronucleus Test, *Journal of Mutation Research*, 31 (1): 9-15, 1975.
- Shabab, S., Gholamnezhad, Z., Mahmoudabady, M. Protective Effects of Medicinal Plant Against Diabetes Induced Cardiac Disorder: A Review, *Journal of Ethnopharmacology*, 265, 113328, 2021.

Siddique, Y. H., Afzal, M. Antigenotoxic Effect of Apigenin Against Mitomycin C Induced Genotoxic Damage in Mice Bone Marrow Cells, *Food and chemical toxicology*, 47,3, 536-539, 2009.

Şeker, SK. (2016). Türk Lokumu Üretiminde Hatmi (*Althaea Officinalis* L.) Kökü Kullanımının Lokumun Kalite Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.

Tabata, M., Sezik, E., Honda, G., Yeşilada, E., Fukui, H., Goto, K., Ikeshiro, Y. Traditional Medicine in Turkey III. Folk Medicine in East Anatolia, Van and Bitlis Provinces, *International journal of pharmacognosy*, 32,1, 3-12, 1994.

Tanker, N., Koyuncu, M. ve Coşkun, M. *Farmasötik Botanik Ders Kitabı*, Ankara Üniversitesi Yayınları, Ankara 1993.

Uluman, E., Aksu-Kilicle, PA. The Investigation of the Possible Antigenotoxic in Vivo Effects of Pomegranate (*Punica Granatum* L.) Peel Extract on Mitomycin-C Genotoxicity, *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 44(2), 382-390, 2020.

Wang, L., Curtis, L., Weller, S. Recent Advances in Extraction of Nutraceuticals from Plants, *Trends in Food Science and Technology*, 17 (6): 300-312, 2006.

**KARADENİZ ve MARMARA DENİZLERİNDEN ÖRNEKLENEN ZARGANA,
Belone belone (LINNAEUS, 1761) TÜRÜNÜN OTOLİT KÜTLE ASİMETRİSİNDEKİ
ALANSAL VARYASYONLAR**

Doç. Dr., MELEK ÖZPİÇAK*

Ondokuz Mayıs Üniversitesi,
melek.zengin@omu.edu.tr - 0000-0003-3506-4242

Dr. Öğr. Üyesi, SEMRA SAYGIN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi,
semra.saygin@omu.edu.tr - 0000-0002-3249-5074

Prof. Dr., SAVAŞ YILMAZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi,
savas.yilmaz@omu.edu.tr - 0000-0003-2859-4886

ÖZET

Bu çalışmada, Karadeniz ve Marmara Denizi'nde ticari olarak avlanan zargana, *Belone belone* türünün otolit kütle asimetrisinin belirlenmesi ve lokasyonlar arasındaki alansal varyasyonların incelenmesi amaçlanmıştır. Karadeniz'den 64 birey, Marmara Denizi'nden ise 61 birey ticari avcılık gerçekleştiren balıkçılardan temin edilmiştir. Örneklerin total boyları ölçülmüş ($\pm 0,1$ cm) ve sagittal otolitleri sağ-sol ayrımları yapılarak çiftler halinde çıkarılmıştır. Her bir sagittal otolit hassas terazi yardımı ile $\pm 0,00001$ g hassasiyetle tartılmıştır. Otolit kütle asimetrisi (X) ve mutlak kütle asimetrisi ($|X|$) lokalitelere göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda ortalama otolit kütle asimetrisi ($X \pm se$) değerleri Karadeniz ve Marmara Denizi için sırasıyla $0,00262 \pm 0,007$ ve $-0,01869 \pm 0,0105$, mutlak kütle asimetrisi ($|X| \pm se$) ise $0,04168 \pm 0,005$ ve $0,04421 \pm 0,009$ olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, otolit kütle asimetrisi ve mutlak otolit kütle asimetrisinin lokaliteler arasında anlamlı farklılık göstermediği saptanmıştır (Mann-Whitney U Testi, $P > 0,05$). Ayrıca, X ve $|X|$ değerlerinin Karadeniz ve Marmara Denizi için balık boyu ile ilişkili olmadığı belirlenmiştir ($P > 0,05$). Otolit kütle asimetrisi, sucul ortamlarının sağlık durumunu test etmek ve balık populasyonları üzerindeki çeşitli çevresel etkilerini belirlemek için bir biyogösterge olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma, Karadeniz ve Marmara Denizlerinden örneklenmiş olan *B. belone* türünün lokasyonlara göre otolit kütle asimetrisi ve mutlak otolit kütle asimetrisinin incelendiği ve balık boyu ile ilişkilerinin değerlendirildiği ilk çalışmadır.

Anahtar Kelimeler: *Belone belone*, otolit kütle asimetrisi, Karadeniz, Marmara Denizi

**SPATIAL VARIATIONS IN OTOLITH MASS ASYMMETRY OF THE GARFISH,
Belone belone (LINNAEUS, 1761) SAMPLED FROM THE BLACK SEA AND
MARMARA SEA**

Assoc. Prof. Dr., MELEK ÖZPİÇAK*

Ondokuz Mayıs University,
melek.zengin@omu.edu.tr - 0000-0003-3506-4242

Asst. Prof., SEMRA SAYGIN

Ondokuz Mayıs University,
semra.saygin@omu.edu.tr - 0000-0002-3249-5074

Prof. Dr., SAVAŞ YILMAZ

Ondokuz Mayıs University,
savas.yilmaz@omu.edu.tr - 0000-0003-2859-4886

ABSTRACT

This study aims to determine the otolith mass asymmetry of the commercially caught garfish, *Belone belone*, in the Black Sea and Sea of Marmara, and to examine the spatial variations between locations. A total of 64 individuals were collected by commercial fishermen from the Black Sea, and 61 individuals from the Sea of Marmara Sea. The total lengths of the specimens were measured (± 0.1 cm), and sagittal otolith pairs were removed by making right and left distinctions. Each sagittal otolith was weighted with a precise balance to an accuracy of ± 0.00001 g. Otolith mass asymmetry (X) and absolute mass asymmetry ($|X|$) were calculated separately for each location. As a result of the analyses, the average otolith mass asymmetry ($X \pm se$) values were calculated as 0.00262 ± 0.007 for the Black Sea and -0.01869 ± 0.0105 for the Sea of Marmara, while the absolute mass asymmetry ($|X| \pm se$) values were 0.04168 ± 0.005 for the Black Sea and 0.04421 ± 0.009 for the Sea of Marmara. The results of this study indicated that there were no significant differences in otolith mass asymmetry and absolute otolith mass asymmetry between locations (Mann-Whitney U Test, $P > 0.05$). Additionally, it was determined that the X and $|X|$ values were not related to fish length in either the Black Sea or the Sea of Marmara ($P > 0.05$). Otolith mass asymmetry is used as a bioindicator to assess the health status of aquatic environments and determine the various environmental impacts on fish populations. This study is the first to investigate the otolith mass asymmetry and absolute otolith mass asymmetry of *B. belone* sampled from the Black Sea and the Sea of Marmara, and to evaluate their relationships with fish length.

Keywords: *Belone belone*, otolith mass asymmetry, Black Sea, Marmara Sea

1. GİRİŞ

Belonidae familyası, 10 cins ve 34 tür tatlı su ve deniz balığını içermektedir (Van Der Lann vd., 2014; Nelson vd., 2016). İğne balıkları olarak da bilinen bu familya bireyleri, uzun bir gövde ile keskin iğne benzeri dişlerle donatılmış gagaya benzer oldukça büyük bir ağız açıklığına sahiptirler. Zargana, *Belone belone* (L.,1761) ekonomik değeri yüksek olan, göçmen ve pelajik bir balıktır. Ayrıca Collet ve Parin (1970) türün 3 alt türe sahip olduğunu (*B. b. belone*, Linnaeus, 1761, *B. b. euxini*, Günther, 1866, *B. b. gracilis*, Lowe, 1839) belirtmişlerdir. Ancak son yıllarda *B. Belone* Akdeniz ve doğu Atlantik Okyanusu için geçerli tek endemik tür olarak kabul edilmiştir (Froese ve Pauly, 2024). Bu tür, Akdeniz ve Karadeniz'e ek olarak Norveç'ten Kanarya Adaları'na kadar acı su ve deniz ortamlarında yaşayarak geniş bir dağılım aralığı gösterir. Diğer pelajik Teleostlar gibi, oşinadrom bir türdür (Jardas, 1996). Kendini korumak için su yüzeyine sıçrayarak ilerleyebilen *B.belone*' nin pullarının çoğunda yeşil bir renk mevcuttur. Bu yeşil renk bir kalsiyum tuzu olan biliverdinden kaynaklanmaktadır (Çağlar, 1950).

Balıkların iç kulaklarında yer alan ve hayat hikayelerinin kayıt altına alındığı “kara kutular” olarak da tanımlanan otolitler, ses reseptörü ve balans organları olarak da görev yapan kalsifiye yapılardır (Schulz-Mirbach ve Ladich, 2016; Tuset et al., 2021). Kemikli balıkların iç kulaklarında asteriscus, lapillus ve sagitta olmak üzere üç çift otolit mevcuttur. Ayrıca otolitler sistematik tabanlı çalışmalarda ve birçok farklı çalışma alanında da tür spesifik oldukları için sıklıkla tercih edilmektedirler (Yılmaz et al., 2015; Mitsui vd., 2020; Tuset et al., 2021; Chesalin, 2021; Ozpicak et al., 2021; Pavlov, 2021; Pavlov, 2022; Jawad et al., 2023; Saygın, 2024; Charmpila vd., 2024; Neves vd., 2025).

Otolitler genellikle simetrik olarak büyürler, ancak sol ve sağ otolit kütleleri arasında ağırlık farklılıkları oluşabilir ve buna otolit kütle asimetrisi denilmektedir (Campana, 1999; Campana ve Thorrold, 2001). Otolit kütle asimetri katsayısı, çeşitli su ortamlarının sağlık durumunu test etmek (GrønkJær, 2016) ve balık popülasyonları üzerindeki çeşitli çevresel etkileri belirlemek için bir biyogösterge olarak da kullanılmaktadır (Jawad vd., 2023). Literatür incelendiğinde farklı birçok deniz ve tatlı su balığında otolit kütle asimetrisi (OKA), mutlak kütle asimetrisi (MKA) ve balık boyu-OKA/OMA ilişkilerinin incelenmiş olduğu çalışmaların olduğu görülmüştür (Lychakov vd., 2006; Jawad vd., 2011; Jawad ve Sadighzadeh 2013; Bostancı vd., 2018; Kontas vd., 2019; Labidi vd., 2020; Bouriga vd., 2021; Yedier vd., 2022; Özpiçak ve Saygın, 2023). Otolit kütle asimetrisi ile ilgili yapılan önceki çalışmalarda, incelenen balık türlerinin çoğunun otolit kütle asimetrisinin $-0,2 < x < +0,2$ aralığında olduğu veya otolit kütle asimetrisinin %20'den küçük olduğu gözlenmiştir (Lychakov 1992; Lychakov ve Rebane 2004; Al Balushi vd., 2017; Jawad vd., 2020; Quindazzi vd., 2023).

Bu çalışmada, Karadeniz ve Marmara Denizleri' nden örneklenen zargana, *B.belone* balığının otolit kütle asimetrisinin belirlenmesi ve lokasyonlar arasındaki alansal varyasyonlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

B.belone örnekleri Marmara Denizi (N=61) ve Karadeniz'de (N=64) ticari avcılık gerçekleştiren balıkçılardan temin edilmiştir. Balık örnekleri, soğuk zincir kullanılarak OMÜ

İhtiyoloji Araştırma Laboratuvarı'na getirilmiş ve üzerindeki yabancı maddelerin uzaklaştırılması amacı ile yıkanmıştır. Laboratuvara getirilen örneklerin total boyları ölçülmüş (0.1 cm), sağ ve sol ayrımları yapılarak sagittal otolitleri çiftler halinde çıkarılmıştır. Daha sonra sağ ve sol otolit ağırlıkları hassas terazi yardımıyla tartılmıştır ($\pm 0,00001g$). Otolit kütle asimetrisi (X) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır;

$$X = (M_R - M_L) / M$$

MR sağ otolitin, ML sol otolitin kütlelerini ifade etmektedir. M değeri ise sağ ve sol otolitlerin kütlelerinin ortalamasıdır. Bununla birlikte bu değer -2 ile +2 arasında değişiklik göstermektedir. X değeri pozitif olduğunda sağ otolit kütleleri sol otolit kütlelerinden daha büyüktür ve negatif olduğunda ise bunun tersi durum söz konusudur. $x = -2$ veya $x = +2$ maksimum asimetriyi (bir otolitin yokluğunu) temsil etmektedir. Mutlak kütle asimetrisi ($|x|$), otolit kütle asimetrisinin mutlak değeri hesaplanarak belirlenmiştir. Balık boyu ile otolit kütle asimetrisi arasındaki doğrusal ilişkiler $X=b.TL+a$ denklemi ile belirlenmiştir. Denklemden b değeri otolitin büyüme hızı ile karakterize edilen katsayı, a ise ilişki sabitidir (Lychakov vd., 2008). Öncelikle sağ ve sol otolit çiftleri arasında ağırlık bakımından farklılık olup olmadığı test edilmiştir. Lokaliteler arasında otolit kütle asimetrisi ve mutlak kütle asimetrisinin fark gösterip göstermediği Mann-Whitney U testi ile karşılaştırılmıştır. Analizlerde MİNİTAB 15.0, SPSS 21.0 ve Excel istatistiksel analiz paket programları kullanılmıştır.

3. SONUÇLAR

Marmara Denizi'nden örneklenmiş olan zargana örneklerinin total boy değerleri 29,0 cm ile 41,2 cm arasında, Karadeniz örneklerinin total boy değerleri ise 24,3 cm ile 39, 0 cm arasında değişmektedir. Örnekler için tanımlayıcı istatistikler Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. *Belone belone* bireylerinin balık boyu ve otolit ağırlıklarının tanımlayıcı istatistikleri

Lokalite	Değişken	Min	Maks	Ort± Sh	Ss
Marmara Denizi	TL (cm)	29,0	41,2	35,816±0,3525	2,7528
	Sağ otolit (g)	0,00182	0,00434	0,00317±0,00006	0,0005
	Sol otolit (g)	0,00216	0,00424	0,00323±0,00005	0,0004
Karadeniz	TL (cm)	24,3	39,0	31,844±0,3380	2,7036
	Sağ otolit (g)	0,00177	0,00356	0,00262±0,00005	0,0004
	Sol otolit (g)	0,00184	0,00356	0,00262±0,00005	0,0004

Min: Minimum, Maks: Maksimum, Ort: Ortalama, Sh: Standart hata, Ss: Standart sapma

Gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda Marmara Denizi örnekleri için otolit kütle asimetrisinin -0,35625 ile 0,29375 arasında, mutlak kütle asimetrisinin 0,00000 ile 0,35625

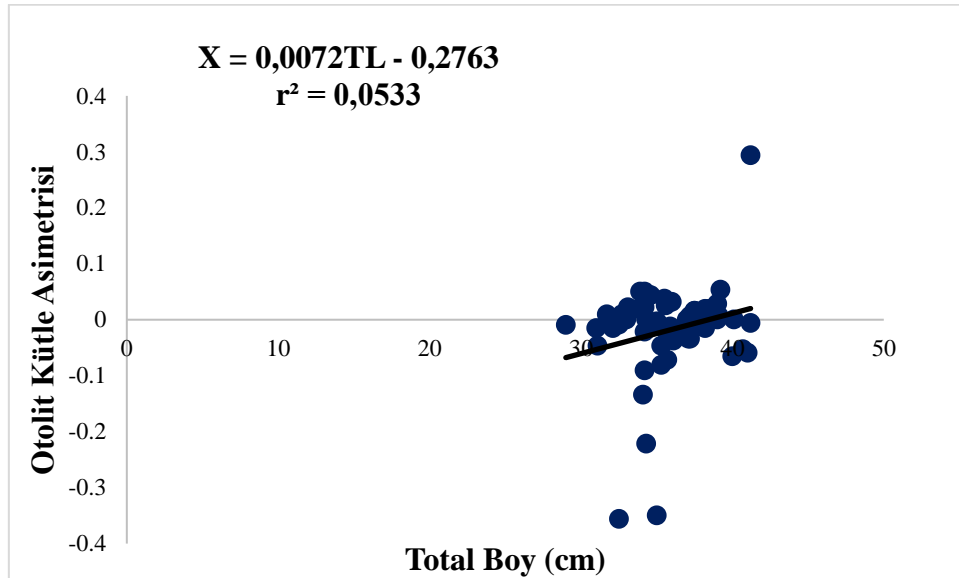
arasında; Karadeniz için ise otolit kütle asimetrisinin -0,21723 ile 0,19817, mutlak kütle asimetrisi ise 0,00000 ile 0,21723 arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Lokalitelere göre otolit kütle/mutlak kütle asimetrisinin tanımlayıcı istatistikleri

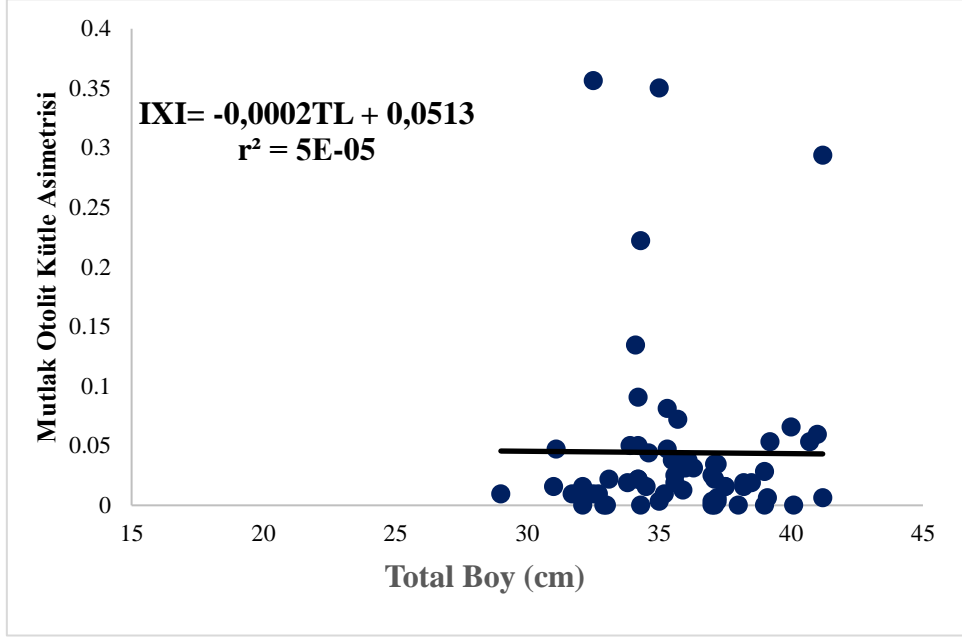
Lokalite	Değişken	Min	Maks	Ort± Sh	Ss
Marmara Denizi	x	-0,35625	0,29375	-0,0186±0,0109	0,0857
	x	0,00000	0,35625	0,023322±0,004	0,0214
Karadeniz	x	-0,21723	0,19817	0,0026±0,0077	0,0623
	x	0,00000	0,21723	0,0416±0,0005	0,0460

Türün otolit kütle asimetrisinin lokaliteler arasında farklılık göstermediği saptanmıştır (Mann-Whitney U test, $P > 0,05$). Otolit mutlak kütle asimetrisinin de habitatlar arasında istatistiki olarak benzer olduğu tespit edilmiştir (Mann-Whitney U test, $P > 0,05$).

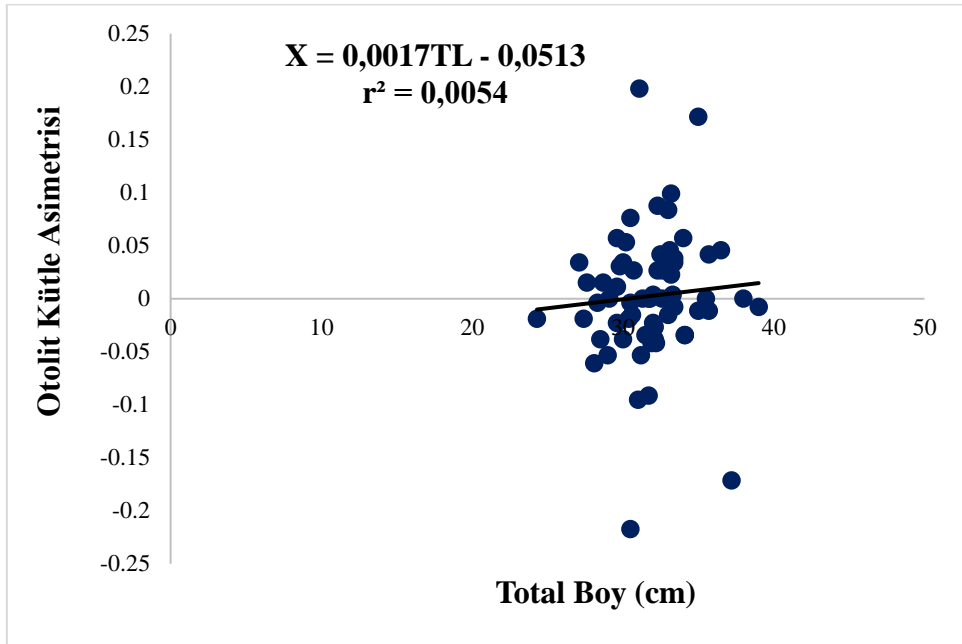
Otolit kütle asimetrisi-balık boyu arasındaki doğrusal ilişki denklemleri Marmara Denizi ve Karadeniz için sırasıyla $X=0,0072TL-0,2763$ ($r^2=0,0533$) ve $X=0,0017TL-0,0513$ ($r^2 = 0,0054$) şeklindedir (Görsel 1-4). Her iki lokalitede de çizilen tüm doğrusal ilişkilerin P değeri dikkate alındığında otolit kütle/mutlak otolit kütle asimetrisinin balık boyu ile ilişkisinin olmadığı belirlenmiştir ($P > 0,05$).



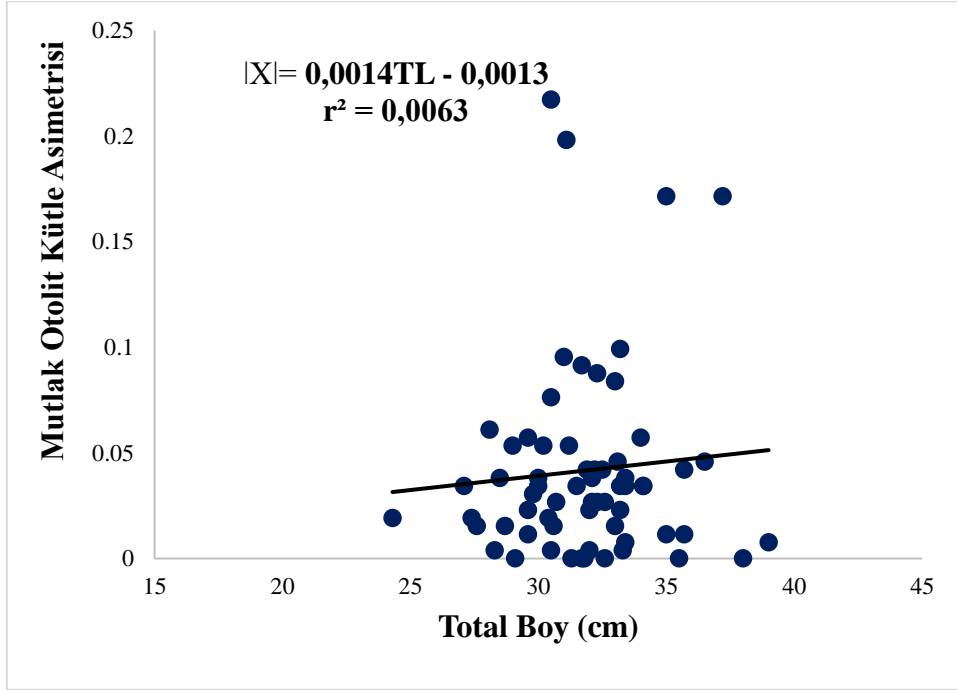
Görsel 1. Marmara Denizi zargana bireyleri otolit kütle asimetrisi-balık boyu arasındaki ilişki



Görsel 2. Marmara Denizi zargana bireyleri mutlak otolit kütle asimetrisi-balık boyu arasındaki ilişki



Görsel 3. Karadeniz zargana bireyleri otolit kütle asimetrisi-balık boyu arasındaki ilişki



Görsel 4. Karadeniz zargana bireyleri mutlak otolit kütle asimetrisi-balık boyu arasındaki ilişki

4. GENEL DERĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Gerçekleştirilen analizler sonucunda ortalama otolit kütle asimetrisi ($X \pm se$) değerleri Karadeniz ve Marmara Denizi için sırasıyla $0,00262 \pm 0,007$ ve $-0,01869 \pm 0,0105$, mutlak kütle asimetrisi ($|X| \pm se$) ise $0,04168 \pm 0,005$ ve $0,04421 \pm 0,009$ olarak hesaplanmıştır. Lychakov vd (2006), otolit asimetrisiyle ilgili olarak yaptığı araştırmasında, otolit kütle asimetrisi (x) değerinin, $-0,2$ ve $+0,2$ aralığında olduğunu belirtmiştir. Çalışmamızda hesaplanan ortalama otolit kütle asimetrisinin de belirtilen aralıkta olduğu belirlenmiştir. Literatür incelendiğinde Türkiye’de *B.belone* türünün otolit kütle asimetrisi ve otolit mutlak kütle asimetrisinin incelenmiş olduğu herhangi bir çalışmanın mevcut olmadığı görülmüştür. Farklı balık türlerinin otolit kütle asimetrisi ve mutlak otolit kütle asimetrisinin incelendiği çalışmalar ise mevcuttur (Lychakov vd. 2006; Yedier vd. 2018; Kontaş vd., 2019; Bouriga vd., 2021, Jawad ve Adams, 2022; Özpiçak ve Saygın, 2023; İmamaoğlu vd., 2024). Otolit kütle asimetrisindeki farklılıklar, kirlilik, pestisitler, insektisitler, herbisitler, avcı baskısı, yiyecek ve ağır metal eksikliği, sudaki iyon değişimi, otolitlerde birikme sorunları, otolitlerin kristal yapıları (örn. aragonitik, vateritik) ve hastalık, genetik yatkınlık ve hatta bunların bir kısmının veya tamamının kombinasyonları ile de ilgilidir (Bostancı vd., 2017). Ayrıca, antropojenik faktörlerin yanı sıra çevresel faktörlerin varyasyonlarının da otolitlerin gelişimi üzerinde dikkate değer etkilerinin olduğu da bilinmektedir (Munday vd., 2011).

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, hem otolit kütle asimetrisi hem de mutlak kütle asimetrisinin lokaliteler arasında fark göstermediği saptanmıştır (Mann-Whitney U Testi, $P > 0,05$). Zargana balığı oşinadrom bir türdür. Bu durum Marmara ve Karadeniz zargana stoklarının birbirleri ile bağlantılı olması ile otolit kütle asimetrisi arasında fark bulunmamasını da desteklemektedir. Ayrıca, literatür incelendiğinde hem deniz hem de tatlısu

balıklarında otolit kütle asimetrisi ile mutlak otolit kütle asimetrisinin balık boyu ile ilişkilendirildiği farklı çalışmaların olduğu görülmüştür. Gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada; otolit kütle asimetrisi-balık boyu arasındaki doğrusal ilişki denklemleri Marmara Denizi ve Karadeniz için sırasıyla $X=0.0072TL-0,2763$ $r^2 = 0,0533$ ve $X=0.0017TL-0,0513$ $r^2=0,0054$, otolit mutlak kütle asimetrisi-balık boyu arasındaki ilişkiler ise $|X|=-0,0002TL+0,0513$ ($r^2=5E-05$) ve $|X|=0,0014TL-0,0013$ ($r^2=0,0063$) olarak hesaplanmıştır. Sagittal otolit kütle asimetrisindeki farklılıklar total boy ile birlikte artmasına rağmen, bu durum pelajik balıklara göre dip balıklarında daha fazla görülen bir olgudur (Lychakov vd., 2006). Ancak mevcut çalışmanın sonuçlarına göre; her iki lokasyon içinde otolit kütle asimetrisinin total boy ile herhangi bir ilişki mevcut değildir. Ayrıca her iki lokasyonda da mutlak otolit kütle asimetrisi-toplam boy ($p>0.05$) arasında anlamlı bir ilişki bulunmadığı hipotezi desteklenmemektedir (Jawad, 2013; Mille vd., 2015; Yedier vd., 2018; Bouriga vd., 2021).

Dünya çapında yapılan çok sayıda araştırmada otolit kütle ve şekil asimetrisinin incelenmiştir. Türkiye'de ise otolit kütle asimetrisi çalışmaları sınırlı saydadır (Yedier vd., 2018; Konaş vd., 2019; Kurucu vd., 2019; Özpiçak ve Saygın, 2023; İmamoğlu vd., 2024). otolit kütle asimetrisi üzerine yapılan daha önceki araştırmalara göre, çevresel stres ile kirliliğe bağlı asimetri arasında bir bağlantı vardır (Jawad vd., 2012). Dolayısı ile otolit kütle asimetrisi çevresel stresin bir sonucu olarak karşımıza çıkabilmektedir.

Bu çalışma, Marmara Denizi ve Ege Denizi'nden örneklenmiş olan zargana balığının otolit kütle asimetrisi ve mutlak kütle asimetrisinin belirlendiği ve lokasyonlara göre kıyaslandığı, ayrıca otolit kütle asimetrisi ve mutlak kütle asimetrisinin balık boyu arasındaki ilişkilerin incelenmiş olduğu ilk çalışmadır.

TEŞEKKÜR

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından PYO.FEN.1901.23.002 proje numarası ile desteklenmiştir. Desteklerinden ötürü teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Van Der Laan R, Eschmeyer WN, Fricke R. Family-group names of recent fishes, Zootaxa. 3882(1), 1–230, 2014.
- [2] Nelson JS, Grande TC, Wilson MVH. *Fishes of the World: Fifth Edition*. Fishes of the World: Fifth Edition, 1–707 p., 2016.
- [3] Froose, R., Pauly, D., FishBase, 2024. *Belone belone* (Linnaeus, 1761). Available from: <https://www.marinespecies.org/aphia>.
- [4] Jardas I. Jadranska ihtiofauna. Školska knjiga. Zagreb. Školska knjiga, 533 p, 1996.
- [5] Çağlar, M., *Belone belone*'nin yeşil renkli iskelet pigmenti hakkında. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Mec, III, 253-269, 1950.
- [6] Collette, B.B., Parin, N.V., Needlefishes (Belonidae) of the Eastern Atlantic Ocean, Danish Science Press, 1970.
- [7] Schulz-Mirbach, T., Ladich, F. *Diversity of inner ears in fishes: possible contribution towards hearing improvements and evolutionary considerations*. In Sisneros, J. (Ed.)

- Fish Hearing and Bioacoustics: An Anthology in Honor of Arthur N. Popper and Richard R. Fay (343–394 pp), Springer International Publishing AG, 2016.
- [8] Tuset, V.M., Otero-Ferrer, J.L., Siliprandi, C., Manjabacas, A., Marti-Puig, P., Lombarte, A. Paradox of otolith shape indices: routine but overestimated use, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 78, 6, 2021
- [9] Yilmaz, S., Yazicioğlu, O., Yazici, R., Polat, N. Relationships between fish length and otolith size for five cyprinid species from Lake Ladik, Samsun, Turkey, *Turkish Journal of Zoology*, 39, 2015.
- [10] Mitsui, S., Strüssmann, C. A., Yokota, M., Yamamoto, Y., Comparative otolith morphology and species identification of clupeids from Japan. *Ichthyological Research*, 67, 502-513, 2020.
- [11] Chesalin, M.V., Otolith shape analysis of the Mediterranean horse mackerel, *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) (Perciformes: Carangidae) from the coastal waters of Sevastopol and Balaklava (the Black Sea), *Russian Journal of Marine Biology*, 47, 2021.
- [12] Ozpicak, M., Saygin, S., Yilmaz, S., Polat, N. Otolith phenotypic analysis for the endemic Anatolian fish species, Caucasian bleak *Alburnus escherichii* Steindachner, 1897 (Teleostei, Leuciscidae), from Selevir Reservoir, Akarçay Basin, Turkey. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 50, 2021.
- [13] Pavlov, D. A., Otolith morphology and relationships of several fish species of the suborder Scorpaenoidei, *Journal of Ichthyology*, 61, 33-47, 2021.
- [14] Pavlov, D.A. Otolith morphology in gibel carp *Carassius gibelio* and crucian carp *C. carassius* (Cyprinidae), *Journal of Ichthyology*, 62, 2022.
- [15] Jawad, L. A., Shamsan, E. F., Aguilar, G., Hoedemakers, K., Scanning electron microscopy and morphological analysis reveal differences in the otolith morphology of three species of the family Lethrinidae (Teleostei: Perciformes) from Yemen, *The Anatomical Record*, 306, 2023.
- [16] Saygin, S., Otolith shape analysis of red mullet, *Mullus barbatus* (Mullidae) in Turkish Waters of the Aegean, Black, and Mediterranean Seas, *Journal of Ichthyology*, 1-11, 2024.
- [17] Charmpila, E. A., Teimori, A., Reichenbacher, B., Otolith-based species identification in the killifish *Aphaniops* (Teleostei; Cyprinodontiformes; Aphaniidae) using both morphometry and wavelet analysis, *Acta Zoologica*, 2024.
- [18] Neves, J. M., da Silva, V. E., Assis, I. O., Fabr e, N. N., Interspecific otolith shape and genetic variability as tools for identifying tropical sympatric and congeneric mullet species, *Regional Studies in Marine Science*, 81, 103969, 2025.
- [19] Campana, S. E. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications, *Marine ecology progress series*, 188, 1999.
- [20] Campana, S. E., Thorrold, S. R. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations?, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58, 1, 2001.
- [21] Gr nkj er, P., Otoliths as individual indicators: A reappraisal of the link between fish physiology and otolith characteristics, *Marine and Freshwater Research*, 67, 2016.

- [22] Jawad, L. A., Shamsan, E. F., Aguilar, G., Hoedemakers, K., Scanning electron microscopy and morphological analysis reveal differences in the otolith morphology of three species of the family Lethrinidae (Teleostei: Perciformes) from Yemen. *The Anatomical Record*, 306, 2023.
- [23] Lychakov, D. V., Rebane, Y. T., Lombarte, A., Fuiman, L. A., Takabayashi, A., Fish otolith asymmetry: morphometry and modeling, *Hearing Research*, 219 (1-2), 1-11, 2006.
- [24] Jawad, L.A., Al-Mamry, J.M., Al-Mamari, H.M., Al-Yarubi, M.M., Al-Busaidi, H.K., Al-Mamary, D.S. Otolith mass asymmetry in *Rhynchorhamphus georgi* (Valenciennes, 1846) (Family: Hemiramphidae) collected from the Sea of Oman. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 17,1, 2011.
- [25] Jawad, L. A., Sadighzadeh, Z. Otolith mass asymmetry in the mugilid fish, *Liza klunzingeri* (Day, 1888) collected from Persian Gulf near Bandar Abbas. *Anales de Biología* 35, 2013.
- [26] Bostancı, D., Yedier, S. Discrimination of invasive fish *Atherina boyeri* (Pisces: Atherinidae) populations by evaluating the performance of otolith morphometrics in several lentic habitats, *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 2018.
- [27] Bostancı D, Türker D, Yedier S, Kondaş S, Kurucu G. Kuzey Ege Denizi Edremit Körfezi'nde yaşayan sarıkuyruk istavrit, *Trachurus mediterraneus* (Steindachner 1868)'un otolit karakterlerinde dalgalı asimetrisinin incelenmesi, *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8, 2018.
- [28] Bostancı, D, Kondaş S, Yedier S, Kurucu G, Polat N. Otolith mass asymmetry of *Barbus tauricus* and *Capoeta banarescui* inhabiting Melet River, Ordu, Turkey. Paper presented at: International Ecology Symposium; Kayseri, Turkey, 2017.
- [29] Kondaş, S., Bostancı, D., Polat, N. Determination of otolith mass asymmetry in *Barbus tauricus* Kessler, 1877 inhabiting lower Melet River (Ordu, Turkey). *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 5, 3, 2019.
- [30] Labidi, M. B., Mejri, M., Shahin, A. A., Quignard, J. P., Trabelsi, M., Faleh, A. B. Otolith fluctuating asymmetry in Boops boops (Actinopterygii, Sparidae) from two marine stations (Bizerte and Kelibia) in Tunisian waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 100(7), 2020.
- [31] Bouriga, N., Mejri, M., Dekhil, M., Bejaoui, S., Quignard, J. P., Trabelsi, M. Investigating otolith mass asymmetry in six benthic and pelagic fish species (Actinopterygii) from the Gulf of Tunis, *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 51, 2, 2021
- [32] Ozpicak, M., Saygın, S. Investigation of otolith mass asymmetry in three stocks of European sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) from Türkiye, *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40, 2023.
- [33] Lychakov, D. V. Morphometric studies of fish otoliths in relation to vestibular function, *Zh. Evol. Biokhim. Fiziol.* 28, 1992.
- [34] Al Busaidi, H. K. Otolith mass asymmetry in *Lutjanus ehrenbergii* (Peters, 1869) collected from the Sea of Oman, *International Journal of Marine Science*, 7, 2017.
- [35] Jawad, L., Gnohossou, P., Tossou, A. G. Bilateral asymmetry in the mass and size of otolith of two cichlid species collected from Lake Ahémé and Porto-Novo Lagoon (Bénin, West Africa). In *Anales de Biología*, 42, 2020.

- [36] Lychakov, D. V., Rebane, Y. T., Lombarte, A., Demestre, M., Fuiman, L. A. Saccular otolith mass asymmetry in adult flatfishes, *Journal of Fish Biology*, 72, 10, 2008.
- [37] Yedier, S., Bostanci, D., Konaş, S., Kurucu, G., Polat, N., Fluctuating asymmetry in otolith dimensions of *Trachurus mediterraneus* collected from the Middle Black Sea. *Acta Biologica Turcica*, 31(4), 152-159, 2018.
- [38] Jawad, L.A., Adams, N.J. Otolith mass asymmetry in the Australian anchovy *Engraulis australis* (White, 1790) predated by Australasian gannets *Morus serrator* (Gray, 1843), Hauraki Gulf, New Zealand. *Cahiers de Biologie Marine*, 63, 4, 2022.
- [39] Ozpicak, M., Saygın, S. Investigation of otolith mass asymmetry in three stocks of European sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) from Türkiye, *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40, 2023.
- [40] İmamoğlu, C., Polat, N., Saygın, S., Özpiçak, M., Yılmaz, S., Investigation of otolith mass asymmetry of *Squalius* sp. populations sampled from different freshwater sources in Samsun Province (Türkiye), *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(2), 479-494, 2024.
- [41] Bostancı, D., Konaş, S., Yedier, S., Kurucu, G., Polat, N., Otolith mass asymmetry of *Barbus tauricus* and *Capoeta banarescui* inhabiting Melet River, Ordu, Turkey. Paper presented at: International Ecology Symposium; Kayseri, Turkey, 2017.
- [42] Munday, P.L., Hernaman, V., Dixon, D.L., Thorrold, S.R., Effect of ocean acidification on otolith development in larvae of a tropical marine fish, *Biogeosciences Discussions*, 8, 2011.
- [43] Jawad, L., Otolith mass asymmetry in *Carangoides caerulepinnatus* (Rüppell, 1830) (family: Carangidae) collected from the sea of Oman. *Croatian Journal of Fisheries: Ribarstvo*, 71(1), 37-41, 2013.
- [44] Mille, T., Mahe, K., Villanueva, M. C., De Pontual, H., Ernande, B., Sagittal otolith morphogenesis asymmetry in marine fishes. *Journal of Fish Biology*, 87(3), 646-663, 2015.
- [45] Jawad, L. A., Al-Mamry, J. M., Al-Mamary, D., Al-Hasani, L., Study on the otolith mass asymmetry in *Lutjanus bengalensis* (Family: Lutjanidae) collected from Muscat City on the Sea of Oman. *Journal of FisheriesSciences. com*, 6(1), 74, 2012.

AMONYUM MONOOKSİGENAZ FONKSİYONEL GENİ İLE AMONYAK OKSİDE EDİCİ BAKTERİLERİN KÜLTÜRE BAĞIMSIZ YÖNTEM OLAN QPCR İLE SAYIMI

Duygu ERDOĞAN

Ege University, Faculty of Science, Department of Biology, 35100 Bornova, İZMİR
ORCID ID: 0000-0000-1023-7865

Prof. Dr. İhsan YAŞA

Ege University, Faculty of Science, Department of Biology, 35100 Bornova, İZMİR
ORCID ID: 0000-0002-0477-1377

ÖZET

Doğal çevrelerde, azot fiksasyonu ve mineralizasyonu gibi mikrobiyal faaliyetler ile gerçekleşen döngüler sayesinde ototroflar için gerekli azot kaynakları olan nitrat ve amonyum tekrar tekrar kullanıma sunulur ve böylece sucul ve karasal çevrelerde azot döngüsü sürdürülebilir bir tarzda sürer.

Bu yüksek lisans çalışmada, İzmir Körfezi'nin kıyısal alanlarından ve kent merkezinde körfezin iç ve orta körfez olarak adlandırılan bölümlerine dökülen dere havzalarından olmak üzere toplam 10 farklı yerden alınan deniz suyu örneklerinde kültüre edilmesi çok zor olan nitrifiye edici bakteriler, QPCR kullanılarak nitel olarak takip edilmiştir.. Amonyak okside edici bakterilerin (AOB) miktarı gerçek zamanlı PCR (Real Time PCR (RT-PCR / qPCR)) ile yapılan kültüre bağımsız sayımlarla ($4.0-9.2 \times 10^5$ hücre g/1 deniz suyu) belirlenmiştir, Örneklerdeki nitrifikasyon potansiyeli ise $0,1-1 \mu\text{g} / \text{L} \cdot \text{h}^{-1}$ deniz suyu olarak bulunmuştur. AOB'in sayısının nitrifikasyon potansiyeline bağlı olmaksızın nispeten stabil olduğu görülmüştür. AOB'in sayısının Arkael Amonyak okside edici (AOA) türlerle orantılı olabileceği ileri sürülebilir. Bu çalışma ile AOB ve AOA için filogenetik ve metabolik bir marker olan yanında, AMO (amonyum monooksijenaz) nitrifikasyon işleminde de anahtar ve hız sınırlayıcı bir enzim olması yanında çevresel kalitenin de bir indikatörü olarak kullanabileceği gösterilmiştir.

Anahtar sözcükler: Nitrifikasyon potansiyeli, Nitrifiye edici bakteriler, QPCR, amonyum monookosijenaz

ABSTRACT

In natural environments, cycles driven by microbial activities, such as nitrogen fixation and mineralization, make nitrate and ammonium, which are essential nitrogen sources for autotrophs, available again and again, so that nitrogen cycling in aquatic and terrestrial environments continues in a sustainable manner.

In this thesis, nitrifying bacteria, which are very difficult to cultivate, were qualitatively monitored using qPCR in seawater samples collected from 10 different locations, including coastal areas of the Gulf of Izmir and river basins in the city center that flow into the inner and middle parts of the Gulf. The amount of ammonia oxidizing bacteria (AOB) was determined by culture-independent counts ($4.0-9.2 \times 10^5$ cells g/1 seawater) using Real Time PCR (RT-

PCR/qPCR), and the nitrification potential in the samples was found to be 0.1-1 µg/L-1h-1 seawater. The number of AOB was found to be relatively stable regardless of the nitrification potential. In addition to being a phylogenetic and metabolic marker for AOB and AOA, ammonium monooxygenase is a key and rate-limiting enzyme in the nitrification process and can be used as an indicator of environmental quality.

Keywords: Nitrification potential, Nitrifying bacteria, QPCR, ammonium monooxygenase

1. GİRİŞ

Doğadaki tüm canlıların hayatını sürdürebilmesi için gereken makro besin maddelerinden en önemlilerinden biri azottur. Azot döngüsündeki alan mikrobiyal oksidasyon ve redüksiyon tepkimeleri doğal ekosistemler için oldukça önemlidir. Bu reaksiyonlar sırasında oluşan azot formları farklı canlılar için besin ve enerji kaynağıdır. Azota bağlı kirliliğinin kontrolünde azot formlarının biyolojik faaliyetler ile dengelenmesi anahtar role sahiptir. Mikrobiyal azot döngüsü asimilasyon, amonifikasyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon, azot fiksasyonu ve anaerobik amonyak oksidasyonunu (anammoks) içerir ki bu döngüde amonyak oksidasyon prosesi hız sınırlayıcıdır. Amonyak oksidasyonu nitrojen döngüsünde çok önemli bir basamaktır ve yakın zamana kadar sadece amonyak okside eden bakteriler tarafından yürütüldüğü ileri sürülmekteydi. Son araştırmalar archeal domainde yer alan yeni amonyak okside eden prokaryotların varlığını ortaya koymuştur. Amonyak oksidasyonundan sorumlu kemolitotrofik mikroorganizmaların iki ana grubu amonyak okside edici bakteriler (AOB) ve amonyak okside edici arkea (AOA)lardır (Wang vd., 2011). AOB *Nitrosomonas* sp., *Nitrosococcus* sp., *Nitrospira* sp. dir. İlk olarak tropikal sucul sistemlerden izole edilen amonyak okside edici arkea ise “*Candidatus Nitrosopumilus maritimus*”tur. Daha sonra sırayla *Candidatus Cenarchaeum symbiosum*, *Candidatus Nitrosocaldus yellowstonii* sıcak termal kaynaklarda, denizel ve tatlısu ortamlarında (Ando vd 2009 ve Park vd 2008), aktif çamur sistemlerinde (Limpiyakorn vd 2011), topraktan (Okano vd 2004,) ve atık su arıtım sistemlerinde (Yapsaklı vd 2011)varlıkları gösterilmiştir. AOB ve AOA oldukça düşük büyüme hızlarında büyüyen prokaryotik türlerdir. Bunun sonucu olarak kültüre edilmeleri son derece zaman alıcı bir işittir. Düşük büyüme hızları, uzun inkübasyon süreleri, kolonilerinin ancak büyüteç ile görülebilmeleri ve hızlı büyüyen heterotrofik bakterilerle kontaminasyon veya istilası gibi zorluklar bu mikroorganizmaların kültüre bağımlı tekniklerle saf kültüre alınmasını ve sayımlarını zorlaştırmaktadır. (Krishnani vd., 2010) Ancak kültüre bağımsız DNA bazlı teknikler, çevresel örneklerde bu mikroorganizma popülasyonlarının sayımı ve tür çeşitliliğinin belirlenmesinde oldukça kolaylıklar sağlar.

Kültüre bağımsız tekniklerden sayım ve tür çeşitliliğinin belirlenmesi için en çok kullanılanları, PCR, RT-PCR, reverse transkriptaz PCR, FISH ve DGGE teknikleridir. RT-PCR uygulamaları, nitrifiye edici mikroorganizmaların çevresel örneklerde zamana bağlı tür ve sayısal değişimlerinin takibinde oldukça yüksek bir hassasiyete sahiptir.

Çevresel örneklerdeki AOB ve AOA'ların Real time PCR ile sayımında amonyum mono oksijenaz (*amoA*) fonksiyonel geni ve 16S rDNA gibi filogenetik özelliklerden faydalanılmaktadır.

Karasal ve sucul ekosistemlerde nitrifikasyon aktivitesi oldukça AOB ve AOA gibi özel mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu mikroorganizmalar çevresel değişimlere, çevresel streslere ve toksik maddelere oldukça duyarlıdır. Nitriye edici türlerin sayısı ve ortamdaki nitrifikasyon potansiyeli su ve toprak örneklerindeki kirlilik ve ötrofikasyon gibi ekolojik kalitenin mikrobiyolojik bir parametresi olarak oldukça kullanışlıdır.

Bu çalışmada denizel örneklerdeki nitriye edici bakterilerin sayısı ve nitrifikasyon potansiyeli belirlenerek nitrifikasyon dinamikleri ile fiziksel ve kimyasal kirlilik parametreleri arasında ilişkinin çevre koruma ve sürdürülebilirlik için moleküler yaklaşımları ile birlikte kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Su Örneklerinin toplanması ve ve *amoA* geninin PCR ile çoğaltılması

Çalışmada kullanılacak çevresel su örnekleri 5 L steril şişelerde 10 farklı lokaliteden toplanmıştır. Genomik DNA izolasyonu, PowerWater DNA Isolation kiti (MO BIO Labs) ile yapılmıştır. Elde edilen genomik DNA'ların bütünlükleri agaroz jelelektroforezinde, saflık kontrolleri ve miktar tayinleri ise Spektrofotometrik olarak Thermo Scientific-Nanodrop 2000c cihazında gerçekleştirilmiştir. Bakteriyel *amoA* gen fragmentlerinin amplifikasyonunda *amoA1F* ve *amoA2R* primerleri kullanılmıştır (Rotthauwe ve ark., 1997).

2.2. *amoA* gen PCR ürününün klonlanması ve RT-PCR

pGEM-T Easy Vector System II (Promega) kullanılarak Taq polimeraz ile çoğaltılan PZR ürünleri plazmid vektöre aktararak *Escherichia coli* JM109 hücrelerine klonlanmıştır. Mavi-beyaz koloni seçimine göre insert DNA içerdiği düşünülen beyaz koloniler, daha önce hazırlanmış olan ampisilin içeren 5'er ml'lik LB sıvı besiyerlerine inoküle edilerek 37 °C'de çalkalamalı olarak 1 gece inkübasyona bırakılmış ve plazmid izolasyonu için İnvitrogen PureLink® Quick Plasmid Miniprep Kit'i kullanılmıştır. Bakteriyel *amoA* genleri sırasıyla, *amoA 1F*, *amoA 2R* primer çiftleri kullanılarak çoğaltılmıştır (Park ve ark., 2008). RT-PCR analizleri Fast Start SYBR green (Roche Mannheim, Germany) kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra oluşturulan standarttan faydalanarak örneklerdeki nitriye edici bakteri sayıları, AOB hücre sayıları, "AOB gen kopyası /2.5 = bir amonyak okside edici hücre" denklemi ile hesaplanmıştır.

2.3. Nitrifikasyon Potansiyelinin Belirlenmesi

Nitrifikasyon potansiyeli optimal durumdaki (laboratuvar koşullarında) maksimum nitrifikasyon aktivitesini ortamda oluşan nitrat miktarının tayini ile ilişkilendiren belirleyen bir yöntemdir (Bloem et al., 2008). Nitrifikasyon potansiyeli spektrofotometrik olarak saatte 1 litre örnekteki amonyumdan oluşturulan nitrat miktarı ($\mu\text{g NO}_3/\text{L}$) olarak hesaplanmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Su örneklerinden izole edilen DNA örneklerinin A260/A280 oranları 1,69-2,17 aralığında saflıkta olduğu bulunmuştur. Bu DNA'lar belirtilen primer seti kullanılarak bakteriyel *amoA* geninin klasik PZR'ı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen PZR ürünlerinin %1,5 lik agaroz jel elektroforezinde yaklaşık 491 bp uzunluğunda *amoA* geni fragmentleri içerdiği gösterilmiştir. Bakteriyel *amoA* gen ürünleri pGEM-T easy Vector System II kiti kullanılarak *Escherichia coli* JM109'a klonlanmıştır. Farklı örneklerden elde edilen total DNA'ların, spesifik primer çiftleri ile fast start syber green boyası kullanılarak RT-PCR analizleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikle

bakteri örneklerinin gen kopya sayısını hesaplayabilmek için *Escherichia coli* JM109'dan elde edilen plazmidler kullanılarak 10^1 - 10^8 kopya olacak şekilde seyreltmeler oluşturulmuştur. Standart olarak bu seyreltmeler kullanılarak *amoA* genine bağlı nitrifiye edici bakterilerin sayımı gerçekleştirilmiştir. Amonyak okside eden nitrifiye edici *amoA* genine bağlı bakteri sayıları sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz dönemlerindeki en yüksek sonbahar örneklerinde 4 numaralı örnekte $9,5 \times 10^3$ adet/ml, kış örneklerinde ocak ayında 6 numaralı örnekte $2,5 \times 10^3$ adet/ml, ilkbahar örneklerinde mayıs ayında 9 numaralı örnekte $8,0 \times 10^3$ adet/ml ve yaz örneklerinde temmuz ayında 10 numaralı örnekte $4,3 \times 10^4$ adet/ml olarak hesaplanmıştır.

Çalışmamızda alınan su örneklerinde amonyum ilavesi ile ortamdaki amonyak okside edici bakteriler tarafından oluşturulan nitrat miktarları standart nitrat grafiği kullanılarak hesaplanmış ve örneklerin nitrifikasyon potansiyelleri olarak değerlendirilmiştir. Amonyak okside eden nitrifiye edici bakterilerin sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz dönemlerindeki nitrifikasyon potansiyelleri izlenmiş ve sonbaharda en yüksek nitrifikasyon potansiyeli 5 numaralı örnekte $0,54 \mu\text{g L}^{-1}\text{h}^{-1}$, kış örneklerinde 5 numaralı örnekte $0,41 \mu\text{g L}^{-1}\text{h}^{-1}$, ilkbahar örneklerinde 4 numaralı örnekte $0,63 \mu\text{g L}^{-1}\text{h}^{-1}$ ve yaz örneklerinde ise 6 numaralı örnekte $0,95 \mu\text{g L}^{-1}\text{h}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Nitrifikasyon oranlarının yaz aylarında ortalamaya göre yüksek, kış aylarında da ortalamaya göre düşük tespit edilmesi literatürle uyumlu ve beklenen bir sonuçtur. Ergüder ve arkadaşları (2009) ise kaplıca, jeotermal maden, gübresiz ve gübreli doğal ortam toprağı, akvaryum, biyofiltrasyon sistemleri ve açık deniz su örneklerinde gerçekleştirdiği çalışma ile farklı pH değerlerinde bile AOA aktivitesini tespit etmiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

RT-PCR tekniğı, çevresel örneklerdeki karmaşık komünitelerde oldukça düşük konsantrasyonlarda bulunan spesifik fonksiyonel genlerin ve filogenetik bölgelerin sayısal olarak belirlenmesinde günümüzde çok tercih edilen ve kullanılan güçlü bir tekniktir. Toprak, denizel çevrelerde ve sulak alanlar, nehirlerde, aktif çamur sistemleri, atık su arıtım sistemleri AOB ve AOA çeşitliliğini ve bolluğunu belirlemek amacıyla Amonyum monooksijenaz fonksiyonel geni kullanılarak kültüre bağımsız moleküler tekniklerle yoğun çalışmalar yapılmıştır. RT-PCR tekniğı ile belirlenen AOB sayısı ve kültüre bağı tekniğlerde belirlenen AOB sayısından daha yüksek olduğunu pek çok çalışmada gözlenmiştir.

Bu mikroorganizmalar çevresel değişimlere (sıcaklık değişimi, oksijen miktarı, pH, tuzluluk), çevresel streslere ve toksik maddelere (ağır metaller, antibiyotikler, çeşitli kimyasallar) oldukça duyarlıdır. Anahtar prokaryotik bir fonksiyon olarak nitrifikasyon su ve toprak örneklerindeki ekolojik kalitenin mikrobiyolojik bir parametresi, indikatördür veya özel olarak azota bağı kirliliğın bir erken uyarı belirtecidir.

Bu çalışmada İzmir körfezi kıyısal alanlarından alınan su örneklerinde fiziksel ve kimyasal kirlilik parametrelerinin belirlenmesine alternatif olarak, nitrifikasyon ve AOB sayıları arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılması çalışılmıştır.

Mevsimsel ölçümlerde nitrifiye edici bakteri sayılarının ve nitrifikasyon potansiyellerinin büyük değişiklik göstermediğı, nitrifikasyonun kesintisiz bir proses olduğu belirlenmiştir. Bu durum doğal ortamlarda en sık rastlanan bakteri grubu olan Nitrifiye edici bakteriler için mutlaktır. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı, organik madde, ağır metal ve pestisit analizleri gibi kirlilik analizleri ile nitrifikasyon potansiyeli ve AOB sayısının karşılaştırmalı analizleri ve bu verilere dayalı modellemeler özellikle sucul ortamlarda kirlenmenin kaynağının belirlenmesi

ve kirlenmenin bertarafında erken önlem alınmasına olanak sağlayarak büyük katkı sağlayacaktır. Yine de, çevresel streslere son derece hassas olan nitrifiye edici mikroorganizmaların insan etkisinin yoğun olduğu sucul alanlarda bile hem sayısal ve aktivite yönünden mevsimsel olarak çok değişmeden varlıklarını sürdürmeleri prokaryotik çeşitlikte nitrifikasyonun doğada daima var olan esnek bir süreç olarak sürdüğünü göstermektedir.

KAYNAKÇA

1. Ando Y. , Nakagawa T. , Takahashi R. , Yoshihara K. , Tokuyama T. Seasonal Changes in Abundance of Ammonia-Oxidizing Bacteria and Their Nitrification in and of an Eelgrass Zone , *Microbes Environ.* , 24, 1,2009.
2. Bloem, J., Hopkins, D.W., Benedetti, A. *Microbiological Methods for assessing soil quality*, CABI, Oxfordshire, UK, 307 p. 2008.
3. Krishnani K. K. Kathiravan V. A quantitative method for detecting ammonia oxidizing bacteria in coastal aquaculture systems, *Aquaculture Research*,41, 2010.
4. Limpiyakorn T. junierhiphand P., Rongsayamanont C., Polprasert C. Abundance of amoA genes of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in activated sludge of full-scale wastewater treatment plants. *Bioresource Technology* 102,2011.
5. Okano Y., Hristova R. K., Leutenegger C. M., Jackson L. E., R. Denison F., Gebreyesus B., Lebauer D., and Scow K. M. Application of Real-Time PCR To Study Effects of Ammonium on Population Size of Ammonia-Oxidizing Bacteria in Soil, *Applied And Environmental Microbiology*, 70,2,2004.
6. Park S., Park B. , Rhee S. Comparative analysis of archaeal 16S rRNA and amoA genes to estimate the abundance and diversity of ammonia-oxidizing archaea in marine sediments, *Extremophiles* 12,2008.
7. Roothauwe J., Witzel K., Liesack W., 1997, The Ammonia Monooxygenase Structural Gene amoA as a Functional Marker: Molecular Fine-Scale Analysis of Natural Ammonia-Oxidizing Populations , *Applied and Environmental Microbiology* , 63, 12, 1977.
8. Yapsakli K. , Aliyazicioglu C., Mertoglu B. Identification and quantitative evaluation of nitrogen-converting organisms in a full-scale leachate treatment plant , *Journal of Environmental Management* 92,2011.

9. Wang S. ,Wang Y., Feng X., Zhai L., Zhu G., 2011, Quantitative analyses of ammonia-oxidizing Archaea and Bacteria in the sediments of four nitrogen-rich wetlands in China. *Appl Microbiol Biotechnol*, 90, 2011.

TİCARİ *Agaricus bisporus* ATIKLARINDAN SULU İKİLİ FAZ SİSTEMİ İLE LAKKAZ GERİ KAZANIMI

Ebru GÜLEÇ

Ege University, Faculty of Science, Department of Biology, 35100 Bornova, İZMİR

ORCID ID: 0000-0000-1700-8480

Prof. Dr. İhsan YAŞA

Ege University, Faculty of Science, Department of Biology, 35100 Bornova, İZMİR

ORCID ID: 0000-0002-0477-1377

ÖZET

Lakkazlar (EC 1.10.3.2, benzendiol: oksijen oksidoredüktaz) ilk defa bitkilerden izole edilen ancak mantar ve bazı bakterilerde de bulunan geniş kullanımı olan endüstriyel enzimlerdendir. Fungal lakkazlar, ligninin parçalanması, sporulasyon, pigment üretimi, meyve oluşumu ve bitki patogenezi gibi süreçlere aracılık eden anahtar enzimlerdir. Lakkazlar ticari olarak üretilen yenilebilir şapkalı mantar atıkları ve misellerini içeren atık mantar kompostunda bulunan en önemli ligninolitik enzimlerden birisidir. Bu çalışmada, *Agaricus bisporus* üretim tesisi atıklarından toplanan sap kısımları kullanılarak lakkaz geri kazanımı için düşük maliyetli sulu ikili faz sisteminin (ATPS) kullanımı araştırılmıştır. Sulu ikili faz sisteminde, PEG konsantrasyonu ve moleküler ağırlığı, tuz türü ve sistem pH parametreleri ile birlikte optimize edilerek en iyi lakkaz veriminde enzimin geri kazanımı sağlanmıştır.

Çalışmada, lakkaz enzim kaynağı olarak *Agaricus bisporus* atık mantar sapı kullanılmıştır. %12.21 kuru madde olan atık mantar sapından elde ettiğimiz ham enzim ekstraktının protein miktarı 3.9 mg/ml ve spesifik aktivitesi 13.713 U/mg olarak saptanmıştır. Sulu ikili faz sistemi ile faz hacim oranı <1.0 olan en yüksek değerlerin alındığı pH 4.60'daki %10 PEG-1000 / %12.5 Na₂SO₄ / %1 ham enzim ekstraktı karışımıyla oluşturulan kombinasyon, enzimin protein miktarı 0.46 mg/ml aktivitesi 16.144 U/mg, saflaştırma katsayısı 1.20, enzim geri kazanımı %94.06 ve %86'lık verim ile saflaştırılmıştır. Ultrafiltrasyon sonucu protein miktarı 1.1 mg/ml, aktivitesi 24.171 U/mg olduğu görülmüştür. Ham ekstraktı göre enzim 1.76 kat saflaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Sulu ikili faz sistem, *Agaricus bisporus*, Lakkaz geri kazanımı, yenilebilir şapkalı mantar atıkları

LACCASE RECOVERY FROM COMMERCIAL *AGARICUS BISPORUS* WASTES BY AQUEOUS-TWO PHASE SYSTEM

ABSTRACT

Laccases (EC 1.10.3.2, benzendiol: oxygen oxidoreductase) are industrial enzymes of wide application, first isolated from plants but also found in fungi and some bacteria. Fungal laccases are key enzymes mediating processes such as lignin degradation, sporulation, pigment production, fruit formation and plant pathogenesis. Laccases are one of the most important ligninolytic enzymes found in commercially produced edible mushroom waste and waste mushroom compost containing mycelia. In this study, the use of a low-cost aqueous two phase system (ATPS) for

laccase recovery was investigated using stalk fractions collected from *Agaricus bisporus* production facility waste. The aqueous binary phase system consists of salt and poly ethylene glycol (PEG) polymer. In ATPS, PEG concentration and molecular weight were optimized together with salt type and system pH parameters to determine the best laccase concentration and enzyme recovery. ATPS was assembled from a mixture of polymers such as poly ethylene glycol (PEG) and salts. By evaluation of molecular mass, concentration of PEG, type of salt and system pH parameters, the best laccase concentrates in ATPS were determined.

In the study, *Agaricus bisporus* waste mushroom stalk was used as laccase enzyme source. The protein content of the crude enzyme extract obtained from 12.21% dry matter waste mushroom stalk was 3.9 mg/ml and the specific activity was 13.713 U/mg. With the aqueous binary phase system, the combination of 10% PEG-1000 / 12.5% Na₂SO₄ / 1% crude enzyme extract mixture at pH 4.60, where the highest values were obtained with a phase volume ratio <1.0, the protein content of the enzyme was 0.46 mg/ml activity 16.144 U/mg, purification coefficient 1.20, enzyme recovery 94.06% and 86% yield. Ultrafiltration resulted in a protein amount of 1.1 mg/ml with an activity of 24.171 U/mg. The enzyme was purified 1.76 times compared to the crude extract.

Keywords: Aqueous two phase system, *Agaricus bisporus*, recovery of laccase. edible mushroom waste

1. GİRİŞ

Dünyada kültürü yapılan mantar türlerinin sayısının artmasına paralel olarak üretilen mantar miktarında da artışlar görülmektedir. *Agaricus* spp., *Pleurotus* spp., *Lentinus*, *Agrocybe aegerita*, *Volvariella volvacea*, *Flammulina velutipes*, *Tremella fuciformis* *Auricularia*, *Morchella* spp., *Ganoderma lucidum*, gibi türlerin ticari üretimi büyük ölçekte yapılmaktadır. Ülkemizde ise mantar üretim hacmi bakımından ilk 20 ülke arasında yer almaktadır ve son yıllarda üretimi katlanarak artmakta olduğu rapor edilmektedir. Üretim Akdeniz, Marmara, İç Anadolu, Ege Bölgelerinde üretimin yoğunlaştığı görülmektedir. Kültürü yapılan başlıca mantar türleri olarak *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus* ve *Lentinus odedes* ilk sıralarda yer almaktadır (Şen ve Yalçın., 2010).

Bitki ve hayvan orijinli atıkların karışımından oluşan ve kültür mantarı yetiştiriciliğinde ana girdilerden biri ve üretim ortamı olan kompostun hazırlaması uzmanlık gerektiren ve verimi en çok etkileyen bir bileşendir. Mantar hasatı sonrasında kalan atıklar atık mantar kompostu (SMC: Spent Mushroom Compost veya SMS: Spent Mushroom Substrate) olarak isimlendirilmektedir (Jordan et al., 2008). SMC; yüksek organik madde, zengin mineral bileşimi, mantar miselyumu, mantarın ticari olmayan sap ve bunların komposta gömülü dip kısımlarını barındırmaktadır. 1 kg taze mantar hasatında yaklaşık olarak 5 kg SMC oluşmaktadır (Finney et al., 2009).

Atık mantar kompostu mantar üretim tesislerinin büyük miktarlarda atık mantar kompostunun ortaya çıktığı bildirilmektedir. Atık mantar kompostu gübre veya ekstraselüler enzim kaynağı olarak kullanımı hem çevresel hem ekonomik yönden büyük ilgi çekmektedir. Selülaz, proteaz ve glikozidazlar gibi ekstraselüler enzimlerin yanında oksidoredüktaz sınıfı bir enzim olan Lakkaz (benzenediol: oksijen oksidoredüktaz; EC 1.10.3.2) hem fenolik hem de fenolik olmayan ligninle ilişkili bileşikler okside edebildiği gibi biyolojik yıkıma dirençli olan

kirleticileride oksitleyebilmesi açısından en ilgi çekenidir. Çoklu-bakır içeren bir protein olan lakkaz, radikal katalizli reaksiyon mekanizması ile aromatik ve aromatik-olmayan farklı bileşiklerin oksidasyonu için moleküler oksijeni kullanmaktadır. Lakkaz enzimlerinin ticari uygulamalarının önündeki en önemli sorun yeterli enzimin bulunmaması ve redoks-aracılarının fiyatıdır (Tuncer, 2010). Bu problemlerin çözümüne yönelik önemli çalışmalar ise son zamanlarda hız kazanmıştır. Bu nedenle, Lakkaz enzimlerinin ucuz ve yüksek miktarda üretimini sağlayacak olan hammaddelerin araştırılması ve bu enzimlerin çok daha aktif ve kullanılabilir olması için çalışmaların büyük önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasında, nispeten organik kökenli ve temiz bir hammadde olarak *Agaricus bisporus* atık mantar saplarından, sulu ikili faz sistemi ve ardından konsantre etmek için ultrafiltrasyon kullanımı ile ticari değeri giderek artan fungal lakkaz enziminin saflaştırılması ve kısmi olarak saflaştırılan bu enzimin preparatının aktivitesi ve stabilitesine etkili pH ve sıcaklık değerlerinin de belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Lakkaz enzim kaynağı olarak; *Agaricus bisporus* hasatından sonra, atık mantar kompostunda bulunan atık mantar sapları (AMS) kullanılmıştır. Hammadde PEMA Mantarcılık (Foça-İzmir) üretim tesislerinden sağlanmıştır. AMS örnekleri temizlenmiş ve -80 °C'de aniden donması sağlanmıştır. Dondurulmuş örnekler liyofilizatörde kurutulmuş ve buzdolabında +4 °C'de bekletilmiştir.

2.1. Ekstraksiyon Veriminin ve Lakkaz Aktivitesinin Belirlenmesi

AMS tozu % 1.0 olacak şekilde pH 4.6 asetat tamponu içinde 1 dk. 4. kademedeki vorteks (VWR, Almanya) ile karıştırılarak buzdolabında 30 dk. +4 °C'de bekletilmiş sonrasında 7000 rpm'de 10 dk. santrifüjlenmiştir Ekstraksiyon verimini belirlemek için 1. ekstraktın süpernatantı alınarak alınan miktar kadar kalıntı üzerine pH 4.6 asetat tamponu eklenmiştir. Aynı prosedür uygulanarak 9. ekstrakta kadar işleme devam edilmiştir. Lakkaz enzim aktivitesi, yapay bir substrat olan ABTS'nin oksidasyonunun izlenmesi yoluyla ölçülmüştür (Irshad et al., 2011). Bu yöntem, lakkaz aktivitesi ölçümünde (Bourbannais and Paice, 1990) çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Enzimatik reaksiyon toplam 1 ml'lik reaksiyon hacminde gerçekleştirilmiştir. 1 mM pH 4.6 asetat tamponunda hazırlanmış 0.9 ml ABTS çözeltisi üzerine pH 4.6 asetat tampon ile uygun seyreltik 0.1 ml enzim çözeltisi ilave edilmiştir. Enzim aktivitesi, reaksiyon karışımının spektrofotometrede 420 nm'de 3 dk.'lık inkübasyon periyodunda absorbanslarının kinetik olarak ölçülmesiyle gerçekleştirilmiştir. 1 Unit (U) enzim aktivitesi; reaksiyon koşullarında, dakikada 1 µMol ABTS'yi okside eden enzim miktarı olarak ifade edilmiştir.

Lakkaz örnekleri protein konsantrasyonlarının belirlenmesi için Bradford metodu kullanılmıştır.

2.2. Lakkazın ATPS ile Kısmi Saflaştırılması

Çalışmamızda sulu ikili faz denemeleri için (Benavides and Rito-Palomares,2004) 4 PEG ve 4 tuz stok çözeltileri hazırlanmıştır. Stok PEG %50 (w/v) konsantrasyonda (PEG 1000, 1450, 3350, 8000 g/mol) çözeltileri ve stok tuz (%30, w/v) (sodyum di hidrojen fosfat/di potasyum mono hidrojen fosfat, sodyum sülfat, amonyum sülfat ve magnezyum sülfat) çözeltilerinin hazırlanmasında distile su kullanılmıştır.Hazırlanan çözeltiler pH 4.6'ya getirilmişlerdir.

Sulu ikili faz sistemi 15 ml'lik dereceli santrifüj tüplerinde toplam miktar 5 g olacak şekilde hazırlanmıştır(Mayola-Deloisa et al., 2009). Ham enzim ekstraktı sistemin %1'ini oluşturacak şekilde ilave edilmiştir ve son sistem ağırlığı olan 5 g'a tamamlamak için bidistile su kullanılmıştır. Karışım 1 dk. 1. kademede vorteks ile karıştırılmış ve faz ayrımının oluşması için 30 dk oda sıcaklığında (25°C) bekletilmiştir. Fazların tamamen ayrılması için, sonrasında 3000 rpm'de 10 dk santrifüj edilmiştir. Alt ve üst fazın hacimleri kaydedilmiştir. Her fazın lakkaz enzim aktivitesi ve protein miktarları yapılmıştır.

2.3.PEG ve Tuz Seçimi

PEG molekülü (%50'lik PEG-1000) sabit tutularak, %30'luk 4 tuz çözeltisinin sistemde farklı oranlarda 15 ml'lik santrifüj tüpünde toplam 5 g karıştırılmalarıyla en uygun tuz türünün belirlenmesinin ardından, tuz miktarı sabit tutulup %50 PEG 1000, 1450, 3350 ve 8000 sistemde en uygun tuz çözeltisiyle ekstraktaki lakkaz enziminin dağılımı çalışılmıştır.

2.4. Dağılım parametreleri

Fazlar arasındaki dağılım davranışları aşağıdaki bazı parametrelerin değerlendirilmesi ile istenilen biyomolekülün etkin bir ayrımının yapılması mümkün olabilmektedir (Hatti-Kaul, 2000; Mohamadi, 2007). Bunlar: (a) Faz Hacim Oranı (VR), (b) Protein Dağılım Katsayısı (Kp), (c) Lakkaz Enziminin Dağılım Katsayısı (Ke), (d) Spesifik Aktivite (SA), (e) Saflaştırma Katsayısı (PF), (f) Lakkaz Enziminin Geri Kazanımı (%R) , (g) Verim (%Y) ve Lakkaz Enziminin Selektivitesi (α)dir.

2.5 PEG fazından enzimin alınması

Enzimin toplandığı PEG fazından enzimi konsantre etmek ve PEG'i ayırmak için 10 000 kDA'luk membrandan ultrafiltrasyonu yapılmıştır.

2.6. Lakkaz Aktivitesine etkili Bazı Parametrelerin Belirlenmesi

Kısmi saflaştırılan lakkaz enziminin aktivitesine etkili sıcaklık ve pH; ayrıca sıcaklık ve pH'nın enzim stabilitesi üzerine etkisi de araştırılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

AMS liyofilizatörde kurutulduktan sonra, 100 g yaş mantar atığından 12.21 g mantar kuru elde edilmiştir. 1 g atık mantar sapı tozundan, 9 ekstraksiyon sonucu elde edilen toplam enzim aktivitesinin %80.46'lık kısmını ilk 2 ardışık ekstraksiyonun adımı yeterli olmuştur. Ham enzim ekstraktının, protein miktarı 3.9 mg/ml ve aktivitesi 53.330 U/ml olarak hesaplanmıştır. Farklı oranlarda PEG ve tuz çözeltilerinin karıştırılmasıyla hazırlanan sistemlerde fazların ayrılması gerçekleşmiş ve böylece lakkaz enziminin dağılımı sağlanmıştır. Faz ayrılmasıyla; PEG çözeltisi üst fazı, tuz çözeltisi ise alt fazı oluşturmuştur. PEG-tuz sulu ikili faz sistemlerinde, üst fazı oluşturan PEG fazında toplanan lakkaz enziminin en yüksek geri kazanımı (%R) Na₂SO₄ ile hazırlanmış olan sistemlerde görülmüştür. %10 PEG-1000 ve %12,5 Na₂SO₄ sisteminde en yüksek lakkaz geri kazanım sağlanmıştır. Na₂SO₄'ın diğer sülfat tuzlarına oranla ((NH₄)₂SO₄, MgSO₄) daha kolay faz oluşturması ve hidrofobik etkileşimi artırma özelliğine sahip olması, enzimin PEG fazına ilerlemesini sağlamıştır (Yue et al,2007). Fazlar arasındaki hidrofobik farkın artırılması PEG ve protein molekülleri arasındaki hidrofobik etkileşimlerin daha da arttıracağından iyi bir saflaştırmaya neden olmuştur.

Lakkaz enziminin PEG-Na₂SO₄ sisteminde tuz konsantrasyonunun dağılıma etkisini incelemek için %10 PEG-1000 ile tuzun % 10, 12,5, 15, 17,5, 20'lik oranları kullanılmış ve

Na₂SO₄ konsantrasyonu %12.5 olduğunda başlangıca göre saflaştırma 1.21 kat artmakta ve geri kazanım %94.06 olmaktadır.

PEG molekül kütlesi arttıkça enzimin dağılma katsayısını ve geri kazanımın düştüğü görülmektedir. Buradan, PEG molekül kütlesinin enzim dağılım katsayısına, PEG 1000 ile en yüksek geri kazanım elde edilmiştir.

En iyi geri kazanımın alındığı %10 PEG-1000 / %12.5 Na₂SO₄ sulu ikili faz sisteminde ham enzim ekstraktının %1-7 oranlarında sisteme ilavesiyle en yüksek geri kazanım %1 ham enzim ekstraktında %94.06 olarak alınmıştır. Protein konsantrasyonunun sistemde doygunluk sınırına ulaşması ve daha yükseğe çıkması proteinlerin çökmesine ve buna bağlı olarak da geri kazanımın düşük olmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle %7 ham ekstrakt ilavesinde en düşük değer olan %21.34'lük bir geri kazanım olmuştur.

Yapılan çalışmalar sonucunda, enzimi bulunduğu PEG fazından ayırarak enzimi deriştirmek için preperatın 10 000 kDA'luk membranda ultrafiltrasyonu yapılmıştır. Konsantre edilen enzimin; protein miktarı 1.1 mg/ml, spesifik aktivitesi 24.171 U/mg olarak bulunmuştur. Ultrafiltrasyon sonrasında enzim başlangıç ham enzim ekstraktına oranla 1.76 kat saflaştırılmıştır.

Agaricus bisporus atık mantar sapından elde ettiğimiz lakkazın optimum pH değeri 4.6, optimum sıcaklık 50°C olarak saptanmıştır.pH 4.0 -9.0 aralığında farklı tampon çözeltilerinde yapılan 10 günlük aktivite takibi sonucunda, AMS'dan elde edilen lakkaz enziminin pH 4.6'da en kararlı olduğunu ve %30'luk bir aktivite kaybına uğradığı görülmüştür. En yüksek aktivite kaybı ise pH 9.0'da %80 olarak saptanmıştır.

AMS'dan elde edilen lakkaz enzime ait sıcaklık stabilitesinin ise 20°C %25 ve 30°C'de %35'lik aktivite kaybıyla en stabil dereceleri oluşturmaktadırlar. En fazla aktivite kaybıda 70°C'de olup testin 4. saatinde %70'lik bir aktivite kaybı görülmüş ve 24. saatte hiç aktivite saptanmamıştır.

AMS'dan elde edilen lakkazın depo kararlılığı çalışmalarında ise enzimin +4 °C'de 3 aylık takibi süresinde 2. aydan sonra aktivitede %30'luk bir düşüş olduğu, 3. ayda da aktivitenin %50'sinden fazlasının korunduğu görülmüştür

3. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Çalışmamızda, *Agaricus bisporus* atık mantar kompostundan gözle görülen ve kolaylıkla elle toplanabilen *Agaricus bisporus* atık mantar sap kısımları lakkaz kaynağı olarak kullanımı gösterilmiştir.*Agaricus bisporus* atık mantar sapı kullanılarak 1 g kuru atık mantar sapından ekstraktının protein miktarı 3.9 mg/ml ve spesifik aktivitesi 13.713 U/mg lakkaz enzimi çözeltisinden 2 katına yakın bir saflıkta ve aktivite ve stabilite özellikleri ortaya çıkarılmıştır.

KAYNAKÇA

- 1.Barilaro, D., Barone, G.,Crupi, V., Majolino D.Characterization of Archeological Findings by FT-IR Spectroscopy, Spectroscopy, April, 20,4, 2005.

- 2.Şen S. ve Yalçın M., Dünya ve Türkiye'de Kültür Mantarcılığı ve Gelistirilmesi , III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi,Artvin,Cilt: III:2010.
3. Jordan S.N., Mullen G.J. and Murphy M.C., 2008, Composition variability of spent mushroom compost in Ireland, *Bioresour Technol*, 99:411-418,2008.
4. Finney K.N., Ryu C., Sharifi V.N. and Swithenbank J., , The reuse of spent mushroom compost and coal tailings for energy recovery: comparisonof thermal treatment technologies, *Bioresour Technol*, 100:310-315 , 2009a.
5. Tuncer M., Lakkaz, kısım 1: yapısı, katalitik özellikleri ve dağılımları, *FenBilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22: 19-63, 2010,
6. Irshad M., Asgher M., Sheikh M.A. and Nowaz H. Purification and characterization of laccase produced by *Schyzophylum commune* IBL-06 insolid state culture of banana stalks, *BioResources* 6(3): 2861-2873,2011.
7. Mayolo-Deloisa K., Trejo-Hernández M.R. and Rito-Palomares M., 2009,Recovery of laccase from the residual compost of *Agaricus bisporus* inaqueous two-phase systems *Process Biochemistry*, 44:435-439 pp.
8. Hatti-Kaul, R. *Aqueous Two-Phase Systems, Methods and Protocols*,Humana Press Inc., New Jersey, Editor: R. Hatti-Kaul,440 p.2000.
9. Mohamadi H.S., Omidinia E. and Dinarvand R., 2007, Evaluation of recombinant phenylalanine dehydrogenase behavior in aqueous two-phase partitioning, *Proces Biochemistry* 42:1296-1301,2007.
10. Yue H., Yuan Q. and Wang W., 2007, Purification of phenylalanine ammonialyase in PEG1000/Na₂SO₄ aqueous two-phase system by a two-step extraction, *Biochemical Engineering Journal* 37: 231-237,2007.
11. Bourbonnais R. and Paice M.G., 1990, Oxidation of non-phenolic substrates: an expanded role of laccase in lignin biodegradation, *FEBS Lett.*, 267:99-102,1990.

**NATURE TOURISM and MACROZOOBENTHIC COMMUNITY STRUCTURE of
DÜDEN STREAM: THE EXAMPLE OF DÜDEN CAVE, SARICAKAYA
(ESKİŞEHİR, TÜRKİYE)**

**Çağatay Eray YILDIZ¹, Assist. Prof. Dr. Deniz MERCAN¹, Ahmet MUTİMOL¹, Prof.
Dr. Naime ARSLAN¹**

ORCID ID: 0000-0002-5526-8501, 0000-0002-9193-2510

E-Posta: dkara@ogu.edu.tr, oligo2009@gmail.com,

**Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Science, Department of Biology,
Eskişehir, Türkiye**

ABSTRACT

Recently, there have been serious discussions on tourism and the environment in the world and in Türkiye. The focus of the discussions is on the fact that tourism damages environmental values. One of these environmental problems is water pollution. Water pollution directly and indirectly affects living beings in the aquatic ecosystem. Since the problems created by water pollution directly affect living beings, the investigation of biological variables plays a very important role in determining pollution. Benthic macroinvertebrates are numerous and diverse in very different climatic and topographic aquatic systems of the world and show a wide distribution. For these reasons, macroinvertebrates are preferred more as indicator organisms. In this study, Düden Stream located in Eskişehir province were selected with 3 stations and benthic samples were collected between July and October on 2023. The purpose of this study was to assess the water quality of this freshwater habitats using diversity indices as well as biotic and saprobi indices based on benthic macroinvertebrates. Totally, 2049 benthic macroinvertebrate individuals belong to 15 species as 2 families from Gastropoda, 2 families from Clitellata, 7 families from Insecta and 1 families from Malacostraca were identified in the areas. The dominant taxa in the stream were determined as Gammaridae family members with 47.60% dominancy value, followed by Physidae and Chironomidae members with 31.08% and 12.38%, respectively. BMWP score values were varied between 11-45. According to saprobi indices results, the stream was determined between betamesosaprob and polymesosaprob. Also, Shannon-Weaver Diversity Index values were varied between 0.88 and 1.51.

Key words : Biotic indices, water quality, benthic macroinvertebrates.

Introduction

In the current century, the rapid depletion of clean water resources, the increasing difficulty in accessing water, and the rise in water scarcity have become some of the most pressing issues. As a result of climatic changes, drought and unregulated industrialization, our already insufficient water resources are rapidly becoming polluted and diminished. In order to prevent this problem, wastes and wastewaters generated as a result of production and other activities

must be treated to reduce their pollutant characteristics and brought to discharge standards before being released into receiving environments. As a result of human activities, irregular industrialization and population growth, drinking water resources and other natural resources are rapidly polluted. Monitoring water quality has become a necessity to ensure the conscious use of these resources, maintain their continuity, improve their quality, and determine their appropriate usage based on their quantities (Bayraktar, 2007). Tourism development shows a structure that is extremely dependent on environmental resources. In the environment where it develops, it causes significant environmental problems as long as it is unplanned and uncontrolled. Conversely, the development of tourism can play a role in protecting and enhancing environmental resources (Kahraman, 1994).

Ecotourism has unquestionably had a favorable effect on a nation's economic growth. However, unsustainable ecotourism practices have also had an impact on environmental quality, particularly on the issues of solid waste disposal and contamination of the air, water, and noise (Hashim et al. 2021). In recent years, there have been serious discussions worldwide and in Türkiye regarding tourism and the environment. The focus of the discussions is on the fact that tourism damages environmental values. The inseparable link between tourism and environmental values adds even greater importance to these discussions, as the primary raw material of the tourism sector is the environment.

Fish, macrophytes, phytoplankton, diatoms and benthic macroinvertebrate groups are used to determine the ecological status and ecological quality of streams. Benthic invertebrates attract the most attention in pollution studies related to stream ecosystems. The macroinvertebrate fauna responds and adapts to physical and chemical changes in water. Pollutants discharged into the water, agricultural or organic pollutants mixing into the water, and similar factors lead to the degradation of water quality, causing changes in the structure and population of macroinvertebrate organisms. As a result, the number and composition of macroinvertebrates living in water is an important indicator used in determining water quality. Especially urban wastes, industrial and petroleum wastes, agricultural wastes (chemical pesticides, fertilizers, etc.) pollute the water surface and macroinvertebrates react to this pollution. Due to these characteristics, macroinvertebrates are highly effective and useful for assessing the impact of pollution on surface waters. High levels of organic and inorganic pollution in aquatic environments result in the reduction of macroinvertebrates with low pollution tolerance, while those with high pollution tolerance tend to increase in number (Plante and Downing, 1989; Klemm et al., 1990; Plante and Downing, 1990; Wetzel and Likens, 1991; Rice et al., 2012). Benthic macroinvertebrates are numerous and diverse and widely distributed in very different climatic and topographic aquatic systems of the world. For these reasons, macroinvertebrates are preferred as indicator organisms. The biological water quality determination methods using indicator organisms are called 'Biotic Indices' (Zeybek, 2007).

Düden Stream, selected as the study area, passes through Düden Cave located in Sarıcakaya district of Eskişehir province. Within the scope of this study, biotic indices such as Biological Monitoring Working Party (BMWP), Average Score Per Taxon (ASPT), TR-BMWP were applied to determine water quality. In addition, values of German Saprobi Index (new version), German SI (old version), Czech SI, Romanian SI and Slovak SI were calculated

and diversity indices as Simpson and Shannon-Weaver diversity indices were also applied. The study is a first for the region in terms of pioneering future studies to be conducted in the field.

Material and Methods

Zoobenthic samples were collected from Düden Stream. Düden Cave, located in Sarıcakaya district of Eskişehir, is located in a small valley formed by Düden Stream. The cave was registered as a "Natural Asset (Group B cave)" dated 09.07.2019 and numbered 160408 of the Ministry. Düden Cave, a horizontally developed semi-active cave, is 425 meters long. 3 stations were determined on Düden Stream, including the cave entrance (Figure 1). Zoobenthic samples were collected as twice a year on July and October in 2023 year.



Figure 1. Düden Cave and Düden Stream as sampling stations

Using a hand net and the kick sampling technique, samples were collected. The benthic samples were fixed in 70% alcohol after being sieved in the field using a set of sieves. After labelled, the fixed samples were delivered to the laboratory. By creating temporary and/or permanent slides, the substrate sediment that was brought to the laboratory was identified at the family-genus level under a light microscope and a Zeiss stereo microscope. The identification keys of Macan (1979), Sauter (1992), Tanatmış (1993, 1999), Belfiore vd. (2000), Haybach and Thomas (2000) for Ephemeroptera; Brinkhust (1971) and Timm (2009) for Oligochaeta, Karaman and Pinkster (1977), Karaman and Pinkster (1987) for Malacostraca, Şahin (1984), Cranston et al. (1987), Şahin (1991), Papp and Darvas (1997), Papp and Darvas (1998) for Diptera, Macan (1965), Savage (1989) for Hemiptera, Nilsson and Holmen (1995) for Coleoptera, Wallace et al. (1990) for Trichoptera, Demirsoy (1982), Askew (1988) for Odonata were used to identify macroinvertebrate specimens. Boucherd (2004), Birmingham (2005) and Thorp and Rogers (2019) were used for identification of whole zoobenthic fauna. Benthic macroinvertebrate samples were stored in the Hydrobiology Laboratory at ESOGU.

Biological Monitoring Working Group-Spanish (BMWP-S), Average Score Per Taxon (ASPT), Turkish BMWP (TR-BMWP) from biotic indices, German SI new version and old version, Czech SI, Slovakian SI and Romania SI from saprobi indices were calculated. Also, Shannon-Weaver and Simpson diversity indices were evaluated for diversity index. ASTERICS 4.04 software was used for calculation of the indices. (AQEM Consortium 2011).

Results and Discussion

The study's sampling data from three stations in Düden Stream between July and October 2023 show that a total of 2049 benthic macroinvertebrate individuals from 15 different taxa were found in the locations. Two taxa from the Gastropoda, three from the Clitellata, nine from the Insecta, and one from the Malacostraca made up the zoobenthic community (Table 1).

Table 1. The dominance value (%) of the taxonomic list of macrozoobenthic individuals was established by field research.

Stations	St 1		St 2		St 3	
	July	October	July	October	July	October
Taxa						
Phylum: Mollusca						
Class: Gastropoda						
Family: Hydrobiidae						
<i>Pseudorientalia</i> sp.	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Family: Physidae						
<i>Physa</i> sp.	7.19	6.79	21.11	33.14	53.70	64.58
Class: Clitellata						
Subclass: Oligochaeta						
<i>Limnodrilus</i> sp.	5.29	6.48	5.03	3.55	0.00	0.00
<i>Potamothrix</i> sp.	2.01	1.58	1.01	1.78	0.00	0.00
Subclass: Hirudinea						
<i>Hirudo</i> sp.	0.21	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00
Phylum: Arthropoda						
Class: Insecta						
Ordo: Ephemeroptera						
Family: Baetidae						
<i>Baetis</i> sp.	1.48	1.58	2.51	5.33	3.70	0.00
Family: Caenidae						
<i>Caenis</i> sp.	0.21	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
Order: Odonata						
Suborder: Zygoptera						
Family: Coenagrionidae						
<i>Ischnura</i> sp.	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Order: Diptera						
Family: Chironomidae						
<i>Tanypus</i> sp.	0.32	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Chironomus riparius</i> Meigen, 1804	2.01	5.37	18.59	11.83	20.37	12.50
<i>Cryptochironomus</i> sp.	0.11	0.00	0.00	1.78	0.00	0.00
Family: Simuliidae						
<i>Simulium</i> sp.	2.01	1.90	2.51	2.96	0.00	0.00
Order: Trichoptera						

Family: Hydropsychidae						
<i>Hydropsyche</i> sp.	0.53	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00
Order: Coleoptera						
Family: Dytiscidae						
<i>Laccophilus</i> sp.	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Subphylum: Crustacea						
Class: Malacostraca						
Order: Amphipoda						
Family: Gammaridae						
<i>Gammarus</i> sp.	77.80	73.78	49.25	39.64	22.22	22.92

Gammarus sp. was the dominant taxa in the Düden Stream with 47.65% dominance value (Figure 2). *Gammarus* species belong to the family Gammaridae and are a varied group of amphipod crustaceans. *Gammarus* species' distribution is influenced by abiotic conditions such as temperature, oxygen, salinity, pollution, and acidity. Members of this species are frequently found in large numbers in gravel, beneath rocks, or in coarse substrates, as well as among both dead and living plants (Kunz et al., 2010). The second dominant taxa was *Physa* sp. with 31.09% dominance value. *Physa* displays a vast array of life history traits that are impacted by elements like habitat type, climate, and the existence of parasites or predators (Wethington, 2003).

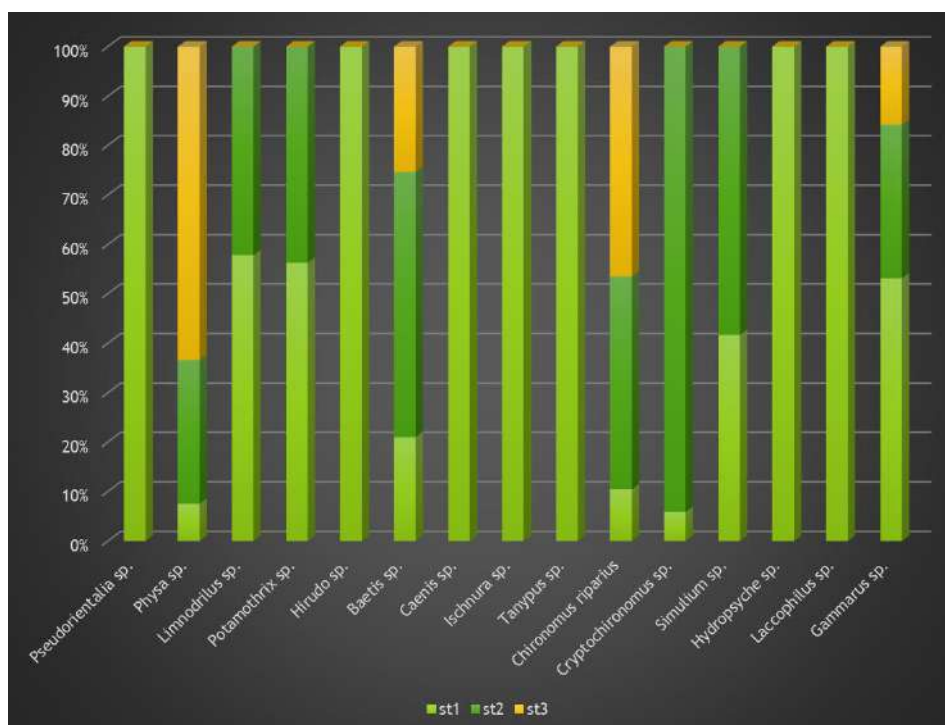


Figure 2. Dominance (%) of taxa of benthic macroinvertebrates at the stations

Table 2 displays the sampling stations' BMWP, ASPT, and TR-BMWP findings. The area had IV water classes (poor water quality), based on the index data. It is seen that tourism

activities had partially started in the region. In addition, it was observed that the people in the villages close to the cave left household garbage in the stream. It is obvious that they are exposed to anthropogenic pollutants.

Table 2. The BMWP, TR-BMWP and ASPT indices results of the sampling stations.

Station	Period	Value of BMWP	Quality Class	Value of ASPT	Quality Class	Values of TR-BMWP	Quality Class
St 1	Summer	45.0	III	3.8	IV	47.0	III
	Fall	30.0	IV	3.8	IV	33.0	IV
	Mean	37.5	IV	3.8	IV	40.0	IV
St 2	Summer	21.0	IV	3.5	IV	24.0	IV
	Fall	21.0	IV	3.5	IV	24.0	IV
	Mean	21.0	IV	3.5	IV	24.0	IV
St 3	Summer	15.0	IV	3.8	IV	15.0	IV
	Fall	11.0	IV	3.7	IV	10.0	V
	Mean	13.0	IV	3.7	IV	12.5	IV

Table 3 displays the findings of the Saprobic indices based on the stations' water quality classes. The water quality level in the aquatic ecosystems of Düden Stream ranges between beta mesosaprobic (Class I–II) and polymesosaprobic (Class IV) based on the applied versions of the Saprobic Index (Table 3).

Table 3. Water quality classes of saprobic indices' various version

Station	Period	German Saprobic Index (old version)	Quality Class	German Saprobic Index (new version)	Quality Class	Czech Saprobic Index	Quality Class	Romania Saprobic Index	Quality Class	Slovakian Saprobic Index	Quality Class
St 1	Summer	3.30	III-IV	3.04	III	1.88	II	4.00	IV	3.50	III-IV
	Fall	3.30	III-IV	3.04	III	1.98	II	4.00	IV	3.50	III-IV
	Mean	3.30	III-IV	3.04	III	1.93	II	4.00	IV	3.50	III-IV
St 2	Summer	3.30	III-IV	3.30	III-IV	1.60	I-II	4.00	IV	3.50	III-IV
	Fall	3.30	III-IV	3.30	III-IV	1.80	II	4.00	IV	3.50	III-IV
	Mean	3.30	III-IV	3.30	III-IV	1.70	I-II	4.00	IV	3.50	III-IV
St 3	Summer	-		-		1.60	I-II	4.00	IV	3.50	III-IV
	Fall	-		-		-	-	4.00	IV	3.50	III-IV
	Mean	-		-		0.8	I	4.00	IV	3.50	III-IV

According to the diversity indices determined in the three sampling stations, Station 2 was found to have the highest diversity with 1.44 value (Table 4).

Table 4. Values of diversity indices calculated in field stations.

Station	Period	Shannon-Weaver Diversity Index	Simpson Diversity Index
St 1	Summer	0.95	0.38
	Fall	1.04	0.44
	Mean	0.99	0.41
St 2	Summer	1.37	0.68

	Fall	1.51	0.72
	Mean	1.44	0.70
St 3	Summer	1.11	0.63
	Fall	0.88	0.53
	Mean	1.00	0.58

As a result of the study conducted in Düden Stream and Düden Cave, it is seen that the diversity of the region in terms of zoobenthic community is not high and that it has medium-poor water quality according to biotic indices. One of the main reasons for this can be shown as the community structure being quite untouched, together with the gradual revival of tourism in the region and exposure to anthropogenic pollutants. This study is the first to be carried out in the region in order to determine the zoobenthic community.

Acknowledgement: This work was supported by TÜBİTAK 2209-A Project.

References

- AQEM Consortium. ASTERICS. 2011. AQEM/STAR Ecological River Classification System. Version 3.3. http://www.fliessgewaesserbewertung.de/downloads/ASTERICS_Softwarehandbuch_Versi on3.3.pdf.
- Askew, R.R. 1988. The Dragonflies of Europe, Harley, Colchester-England.
- Belfiore, C., Tanatmış, M., Kazancı, N. (2000) Taxonomy of *Electrogena Antalyensis* (Kazancı and Braasch) (Ephemeroptera, Heptageniidae). *Aquatic Insects* 22: 261-270. Doi: 10.1076/01650424(200010)22:4; 1y; Ft261.
- Birmingham, M., Heimdahl, D., Todd, H., Ken, K., Richard, L., Jim, W., Jacklyn, N., Brian, S. ve Tom, W. (2005). "Benthic Macroinvertebrate Key", Iowater Volunteer Water Quality Monitoring. <http://www.iowater.net/>.
- Boucher, R. W. Jr. (2004). "Guide to aquatic invertebrates of the Upper Midwest". University of Minnesota, ISBN-00511309763.
- Brinkhurst, R.O. (1971). A Guide for the Identification of British Aquatic Oligochaeta. Freshwater Biological Association, Scientific Publication No. 22, 2nd Ed., Toronto.
- Cranston, P.S., Edward, D.H.D. & Colless, D. (1987). *Archaeochlus Brundin*- a midge out of time (Diptera, Chironomidae). *Systematic Entomology*, 12, 313-334.
- Demirsoy, A. 1982. Türkiye Faunası, Odonata, TÜBİTAK, Ankara.
- Hashim, M., Ali, M. S. M., Nayan, N., Mahat, H., Saleh, Y., Norkhaidi, S. B., See, K. L., Said, Z.M. (2021). The impact of ecotourism on the water quality in sedim river, kedah, malaysia. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 683, 012023. doi:10.1088/1755-1315/683/1/012023.

- Haybach A., Thomas, A. (2000). Rediscovery of *Ecdyonurus codinai* Navás, 1924 in Portugal [Insecta: Ephemeroptera: Heptageniidae]. *Ephemera* (1999)1, 79-84.
- Kahraman, N. (1994). Sürdürülebilir Kalkınma ve Turizm, H.Ü.İ.İ.B.F. Dergisi, 12.
- Karaman, G.S., Pinkster, S. (1977). Freshwater Gammarus species from Europe, North Africa and adjacent regions of Asia (Crustacea, Amphipoda). Part I. *Gammarus pulex*-group and related species. *Bijdr. Dierkd.* 47(1), 1-97. <https://doi.org/10.1163/26660644-04701001>
- Karaman, G.S., Pinkster, S. (1987). Freshwater Gammarus species from Europe, North Africa and adjacent regions of Asia (Crustacea, Amphipoda). Part III. *Gammarus balcanicus*-group and related species. *Bijdr. Dierkd.* 57(2), 207-260. <https://doi.org/10.1163/26660644-05702005>
- Klemm, D.J., Lewis, P.A., Fulk, F., Lazorchak, J.M. (1990). Macroinvertebrate Field and Laboratory Methods for Evaluating the Biological Integrity of Surface Waters. EPA-600/4-90-030 Environmental Monitoring Systems Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Kunz, P.Y., Kienle, C., Gerhardt, A. (2010). Gammarus spp. in aquatic ecotoxicology and water quality assessment: toward integrated multilevel tests. *Rev Environ Contam Toxicol*, 205:1-76. doi: 10.1007/978-1-4419-5623-1_1. PMID: 20044794.
- Macan, T.T. (1979). A Key to the nymphs of the British Species of Ephemeroptera with notes on their ecology. Scientific Publication - Freshwater Biological Association, 20, 1–79.
- Macan, T.T. (1965). A revised key to the water bugs (Hemiptera-Heteroptera). Freshwater Biological Association, 1Sc. Publ. n 16, Ambles~de, Pp:78.
- Nilsson, A.N., Holmen, M. (1995). The Aquatic Adephaga (Coleoptera) of Fennoscandia and Denmark. II. Dytiscidae (Fauna Ent. Scand). Leiden: E.J. Brill.
- Papp, L., Darvas, B. (Eds.). (1997). Contributions to a Manual of Palaearctic Diptera 2. Nematocera and Lower Brachycera. Budapest, Science Herald. 592 p.
- Papp, L., Darvas, B. (Eds.). (1998). Contributions to a Manual of Palaearctic Diptera 3. Higher Brachycera. Budapest, Science Herald. 880 p.
- Plante, C., Downing, J.A. (1989). Production of freshwater invertebrate populations in lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 1489.
- Plante, C., Downing, J.A. (1990). Empirical evidence for differences among methods for calculating secondary production. *J. N. Amer. Benthol. Soc.*, 9(1): 9.
- Rice, E.W., Baird, R.B., Eaton, A.D., Clesceri L.S. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd edition. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association(AWWA), Water Environment Federation.
- Sauter, W. (1992). Ephemeroptera, *Insecta Helvetica Fauna*, 9: 1-74.
- Savage, A.A. (1989) Adults of the British Aquatic Hemiptera Heteroptera. Freshwater Biological Association.

- Şahin, Y. (1984). Identification and distributions of Chironomidae (Diptera) Larvae in East and Southeast Anatolia Rivers and Lakes (in Turkish), Anadolu University Press No: 57, Faculty of Arts and Sciences Press, No: 2, Eskişehir.
- Şahin, Y. (1991). Türkiye Chironomidae Potamofaunası. TÜBİTAK Temel Bilimler Araştırma Grubu, Proje No: TBAG-869, Eskişehir, 88 s.
- Tanatmış, M. (1993). Sakarya nehir sistemi Ephemeroptera Limnofaunasının tespiti ve yayılışları. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 136 s.
- Tanatmış, M. (1999). Türkiye Ephemeroptera türleri ve yayılışları. Genel Zoocoğrafya ve Türkiye Zoocoğrafyası 'Hayvan Coğrafyası' (Demirsoy, A.). Meteksan A.Ş. Ankara (pp. 672-680).
- Thorp, J.H., Rogers, D.C. (2019). Volume IV: Keys to Palaearctic Fauna Thorp and Covich's Freshwater invertebrates (4th ed., pp. 357-518), Academic Press, Elsevier, Waltham, MA, USA.
- Timm, T. (2009). A guide to the freshwater Oligochaeta and Polychaeta of Northern and Central Europe, Lauterbornia, 66, 235 p.
- Wallace, I.D., Wallace, B., Philipson, G.N. (1990). A key to the case-bearing caddis larvae of Britain and Ireland. Freshwater Biological Association Scientific Publication, No. 51. 1–237.
- Wethington, A.R. (2003). Phylogeny, taxonomy, and evolution of & reproductive isolation in Physa (Pulmonata: Physidae). PhD thesis, University of Alabama, Tuscaloosa.
- Wetzel, R.G., Likens, G.E. (1991). Limnological Analyses, 2nd ed. SpringerVerlag, New York, N.Y.
- Zeybek, M. (2007). Çukurca Dere ve Isparta Deresinin Su Kalitesinin Makrozoobentik Organizmalara Göre Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.

PARÇALI YARIM KÜRE TÜRBÜLATÖRLERİN ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Öğr. Gör. Uğurcan YARDIMCI

Bingöl Üniversitesi/ Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu/ Elektrik ve Enerji Bölümü
uyardimci@bingol.edu.tr – ORCID ID: 0000-0001-6511-4058

Arş. Gör. Dr. Volkan TUĞAN

Munzur Üniversitesi/ Mühendislik Fakültesi/ Makine Mühendisliği Bölümü
volkantugan@munzur.edu.tr – ORCID ID: 0000-0001-7910-1207

ÖZET

Bu çalışmada ısı değiştiricilerin termal performansını artırma yöntemlerinden biri olan türbülatorler kullanılarak ısı değiştiricisinin termal performansını arttırmak amaçlanmıştır. Parçalı yarım küre türbülatorler 40 mm çap, 5 mm genişlik ve 2 mm et kalınlığından oluşan yarım halkaların, parçalı yarım küre haline getirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu yarım kürelerin tek parçalı, iki parçalı ve dört parçalı kombinasyonları farklı Re (Reynolds) sayılarında incelenmiştir. Analizler sayısal olarak ANSYS CFX programı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Alınan sonuçlar, Nu (Nusselt) sayısının Re ile değişimi, f (sürtünme faktörü) sayısının Re ile değişimi ve TPF (termal performans faktörü) sayısının Re ile değişimi olmak üzere üç farklı grafik üzerinde gösterilmiştir. Sonuçlarda, dört parçalı yarım küre türbülatorlerinde Nu değerinin boş boru deneylerine göre maksimum 2.2 kat arttığı görülmektedir. Termal performans faktörünün ise en yüksek olan 1.46 değerine tek parçalı yarım küre türbülatorlerinde ulaştığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Isı Değiştiricileri, Türbülatorler, CFD, Sayısal Analiz

1. GİRİŞ

Isı değiştiriciler günümüzde birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin verimini artırmak için farklı yöntemler denenmekte olup, en bilinenlerden biri türbülatör kullanımıdır. Literatürde trblatrlerle ilgili gerçekleştirilen araştırmaların bazıları şu şekildedir. Hassan ve Hameed [1], ift borulu ısı değiştiricilerinde kare şeklindeki şerit türbülatörlerin hidrotermal performansına etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmada, 1 cm, 0,5 cm ve 0,25 cm olmak üzere üç farklı türbülatör çubuğundan oluşan kare parçalar kullanılmıştır. Türbülatör genişliğinin, ısı transfer oranını önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir. Düz boru ile kıyaslandığında, 0,25 cm genişliğindeki kare kesitli türbülatörlerin Nusselt sayısını %271,7 artırdığı gözlemlenmiştir. 0,25 cm genişliğindeki kare türbülatörün kullanıldığı durumda termal performans faktörünün 2,9 olduğu grlmştır. Zhao vd. [2], dalgalı şerit türbülatör, kabarcık enjeksiyon ve nanoakışkan kullanılmasıyla çift borulu ısı değiştirici performansına etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmada, nanoakışkan olarak CuO-su kullanılmış olup, 60, 90, 115 ve 150 ° olmak üzere dört farklı türbülatör açısı incelenmiştir. Türbülatör, kabarcık enjeksiyon ve nanoakışkan kullanımının ısı transferini sırasıyla %74, %66 ve %17 artırdığı gözlemlenmiştir. En yüksek termal performans faktörünün, türbülatör açısının 150 °, kabarcık enjeksiyonu akış oranının 6 l/dk ve nanoakışkan konsantrasyonunun %1 olması durumunda elde edildiği grlmştır. Bu üç yöntemin birlikte kullanılması durumunda termal performans faktörünün 1,19 olduğu belirtilmiştir. Fang vd. [3], yarı dairesel ve damla şeklindeki türbülatörlerin ısı transferi ve basınç kaybı üzerindeki etkisini sayısal olarak araştırmışlardır. Analizlerde alışma akışkanı olarak kullanılan sıcak suyun akış oranı 0,044-0,099 kg/s'dir. Düz boruyla kıyaslandığında, yarı dairesel ve damla şeklindeki türbülatörlerin kullanıldığı durumda maksimum ısı transferinin sırasıyla %257 ve %298 daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Xie vd. [4], bükülmüş şerit türbülatörlerin helisel tp içerisinde kullanımının ısı transferine etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneyler, 6000-32000 aralığında Reynolds sayısı için gerçekleştirilmiştir. Düz tüple kıyaslandığında, bükülmüş şerit türbülatörlerin kullanıldığı durumda Nusselt sayısının %66'ya kadar arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek termal performans faktörünün 1.013 olduğu ve büküm aralığının 5 cm, debinin 100 litre/saat olması durumunda elde edildiği belirtilmiştir.

Pourahmad vd. [5], hava kabarcık enjeksiyonu ve çift bükümlü şerit türbülatörlerin çift borulu bir ısı değiştiricinin termal performansına etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Türbülatör oranının azalması, kabarcık enjeksiyon hızının artması ve soğuk su akış hızının artması ile Nusselt sayısının arttığı grlmştır. Kabarcık enjeksiyonu ve türbülatörlerin birlikte kullanıldığı durumda, Nusselt sayısında basit boruya kıyasla %98-114 aralığında artış gözlemlenmiştir. Xiong vd. [6], çift borulu ısı değiştiricisinde konik ve fuziform şekilli türbülatörlerin kullanımını sayısal olarak araştırmışlardır. Dört farklı Reynolds sayısının (4000, 7000, 10000 ve 13000) incelendiği çalışmada, toplam 21 konfigürasyon simüle edilmiştir. En yüksek ısı transfer katsayısının dairesel i boruya sahip ısı değiştirici kullanıldığında elde edildiği gözlemlenmiştir. En uygun konfigürasyonun dairesel i boruya ve 12 mm fuzidorm trblatrlere sahip ısı değiştiricisi için elde edildiği belirtilmiştir. Reynolds sayısının 4000 olduğu durumda, fuziform şekilli türbülatörlerin kullanılması ile düz boruya kıyasla ısı transfer katsayısında %4,68'lik iyileşme olduğu belirtilmiştir. Nakhchi vd. [7] çift delikli eliptik

türbülatorlerin çift borulu ısı değiştiricilerinde kullanımını deneysel olarak araştırmışlardır. Deneyler, 5000-18000 aralığında Reynolds sayısında gerçekleştirilmiştir. Çift delikli eliptik türbülatorlerin Nusselt sayısını %217,4 artırdığı görülmüştür. En yüksek termal performans faktörünün 1,849 olduğu belirtilmiştir. Dirker vd. [8], bir ısı transfer kanalında, dairesel kesitli halka tipi türbülatorlerin kullanımını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Deneyler, 2000-7500 aralığındaki Reynolds sayılarında gerçekleştirilmiştir. Türbülator kullanımının Nusselt sayısını %34-54 aralığında iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, türbülator boşluğunun azalmasıyla basınç kaybının azaldığı belirtilmiştir.

2. SAYISAL ALIşMA

2.1. Temel Denklemler

Bu çalışmada akışkan olarak seçilen 1 atm basınç ve 25 °C deki havanın hızı (V), analizlerde kullanılan borunun iç çapı (d_i) ve akışkanın kinematik viskozitesi (ν) kullanılarak Re sayısı denklem 1'deki gibi hesaplanmıştır.

$$Re = \frac{Vd_i}{\nu} \quad (1)$$

Isı transferi sonuçları Nu (Nusselt) sayısı ile gösterilmiştir. Denklem 2, Nu sayısının formülünü göstermektedir. Denklem 2'de ısı iletim katsayısı (k), ısı taşınım katsayısı (h) ve borunun iç çapı (d_i) kullanılmıştır. Isı taşınım katsayısının hesaplanabilmesi için ayrı bir formül kullanılmıştır. Denklem 3 içerisinde kullanılan bu formülde ρ yoğunluğu, A_k kesit alanını, T_i boru içerisine giriş sıcaklığını, T_o borudan çıkış sıcaklığını, A_y yanal alanı, C_p özgül ısıyı ve $LMTD$ ise logaritmik ortalama sıcaklık farkını temsil etmektedir. Denklem 4 'te $LMTD$ değerinin hesaplanması için gereken formül verilmiştir. Denklem 4 içerisinde yer alan T_w çeper sıcaklığını temsil etmektedir.

$$Nu = \frac{hd_i}{k} \quad (2)$$

$$h = \frac{(\rho VA_k)C_p(T_i - T_o)}{A_y(LMTD)} \quad (3)$$

$$LMTD = \frac{(T_w - T_i) - (T_w - T_o)}{\ln\left(\frac{T_w - T_i}{T_w - T_o}\right)} \quad (4)$$

Giriş ve çıkış arasındaki basınç farkı ΔP , analizlerde kullanılan boru uzunluğu L , akışkanın hızı, akışkanın yoğunluğu ve borunun iç çapı kullanılarak sürtünme faktörü hesaplanmaktadır. Sürtünme faktörü olan f değeri denklem 5'te verilmiştir.

$$f = \frac{2\Delta P d_i}{L\rho V^2} \quad (5)$$

Elde edilen verilerin literatür ile kıyaslanması termal performans faktörü (TPF) ile yapılmıştır. Termal performans faktörü (TPF), boş boru Nusselt (Nu_b) değeri, türbülatorlü Nusselt (Nu_t) değeri, boş boru sürtünme faktörü (f_b) ve türbülatorlü sürtünme faktörü (f_t) değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Termal performans faktörü denklem 6 içerisinde verilmiştir.

$$TPF = \frac{(Nu_t/Nu_b)}{(f_t/f_b)^{1/3}} \quad (6)$$

2.2. Sayısal Analiz

Bu çalışmada yapılan analizler için ANSYS CFX programı kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan süreklilik momentum ve enerji denklemleri sırasıyla denklem 7, denklem 8 ve denklem 9 içerisinde verilmiştir [9,10]. Bu denklemlerde k ısı iletkenliği, P basıncı, μ dinamik viskoziteyi temsil etmektedir.

Süreklilik;

$$\nabla(\rho V) = 0 \quad (7)$$

Momentum;

$$\nabla(\rho VV) + \nabla P = \nabla(\mu \nabla V) \quad (8)$$

Enerji;

$$\nabla(\rho C_p V) = \nabla(k \nabla T) \quad (9)$$

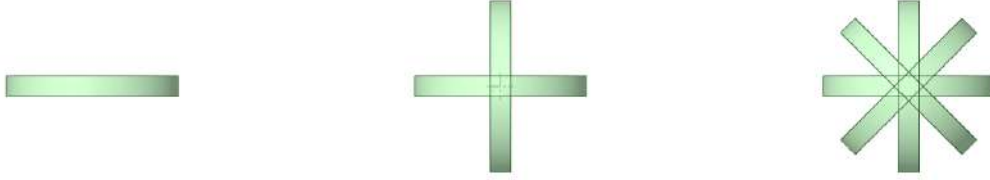
Analizlerde ısı değiştiricisi, 1500 mm uzunluğa ve 66 mm çapa sahip olan ayrıca çeperinin 100  C sabit sıcaklık ile ısıtıldığı silindirik bir boru olarak dűřünűlműřtür. İnet olarak akışkanın giriş hızları ve 25  C giriş sıcaklığı ANSYS CFX programına tanımlanmışır. Türbűlans modeli olarak k - ϵ seçilmiştir. Görsel 1’de parçalı yarım kűre türbűlatörlerin, bir parçalı, iki parçalı ve 4 parçalı hallerinin silindirik boru içerisindeki yerleşimi verilmiştir.



Görsel 1. Türbűlatörlerin Silindirik Boru İçerisindeki Görűnűmű

Analizlerde kullanılan türbűlatörler 42 mm dış ve 40 mm iç çapa sahip yarım halka parçalardan oluşmaktadır. Bu yarım halka parçalar akışa paralel bir şekilde konumlandırılmışır. Bu yerleşim dűzeni ile türbűlatörlerin yarım kűre şeklinde olması da sağlanmışır. Yarım halka parçalarının kalınlıkları 5 mm’dir. Yarım halka parçalar tüm analizler boyunca, 1 parçalı, 2 parçalı ve 4 parçalı olmak üzere üç farklı sayıda kullanılarak üç farklı türbűlatör oluşturulmuştur. 2 parçalı türbűlatörlerde parçalar arasında 90 derece bulunurken, 4

parçalı türbülatorlerde parçalar arasında 45 derece bulunmaktadır. Görsel 2’de 1 parçalı, 2 parçalı ve 4 parçalı yarım küre türbülatorlerin önden görünümü verilmiştir.



Görsel 2. Parçalı Yarım Küre Türbülatorlerin Önden Görünümü

Türbülatorler girişten 100 mm sonra başlayacak şekilde silindirik boru içerisine yerleştirilmiştir. Türbülatorler arası mesafe 250 mm olarak belirlenmiştir. Tüm analizlerde 6 adet türbülator kullanılmıştır. Parçalı yarım küre türbülatorlerin üstten görünümü Görsel 3’te verilmiştir.

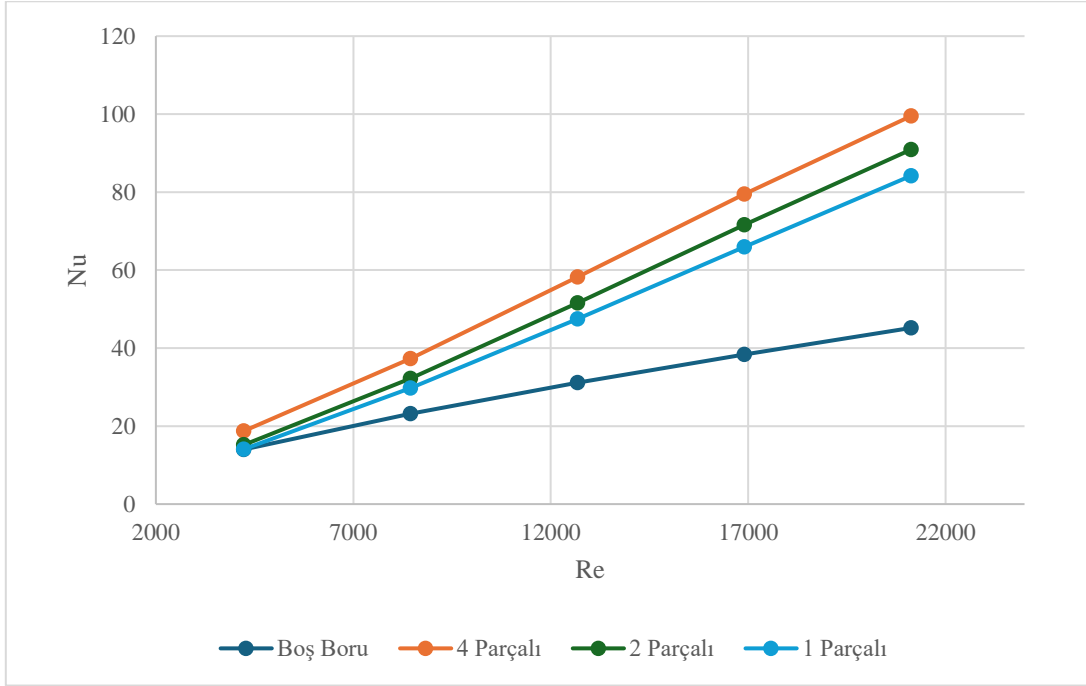


Görsel 3. Açılı Yarım Halka Türbülatorlerin Üstten Görünümü

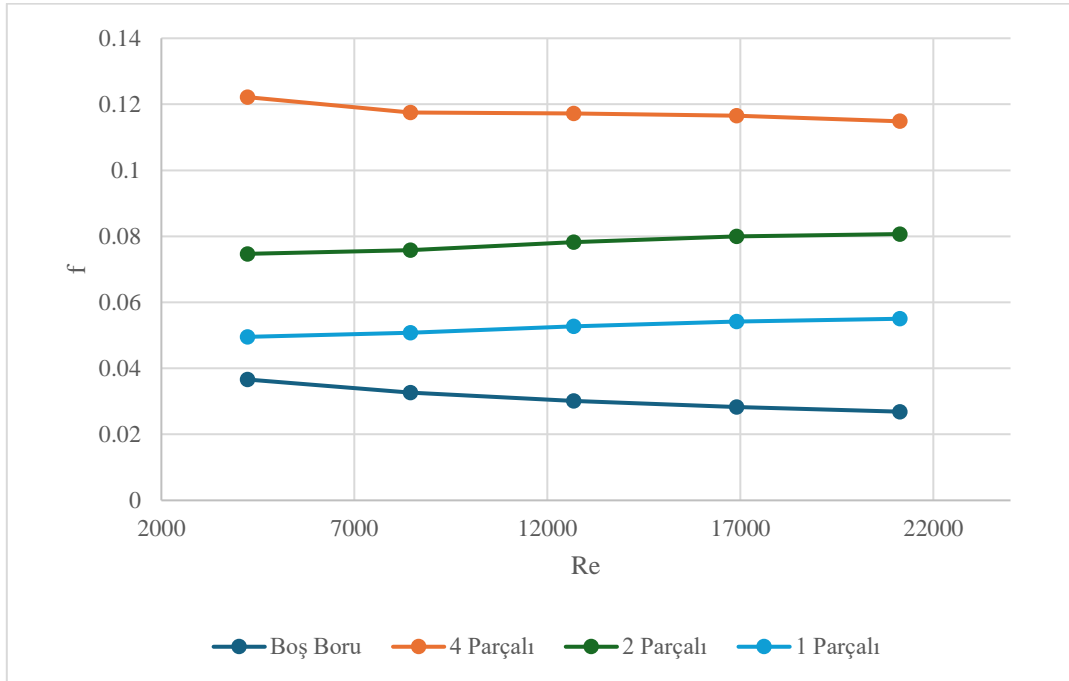
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Sonuçlar 3 farklı grafik ile sunulmuştur. Görsel 4’te parçalı yarım küre türbülatorlerin $Nu-Re$ grafiği, Görsel 5’te parçalı yarım küre türbülatorlerin $f-Re$ grafiği ve Görsel 6’da parçalı yarım küre türbülatorlerin $TPF-Re$ grafikleri verilmiştir. Görsel 6’da ek olarak yapılan çalışmanın literatür ile daha iyi kıyaslanabilmesi için Kongkaitpaiboon vd. yaptıkları halka türbülatorlerin verilerine de yer verilmiştir [11].

Görsel 4’te sunulan $Nu-Re$ grafiği incelendiğinde 4 parçalı yarım küre türbülatorlerin boş boruya göre 2.2 kat ile en yüksek Nu artışına sebep olduğu görülmektedir. Parça sayılarının artması Nu değerinde artışa sebep olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda en düşük Nu artışının, 1 parçalı yarım küre türbülatorlerde gerçekleştiği görülmektedir. Görsel 5 incelendiğinde ise en yüksek f sürtünme faktörü artışının da 0,12 ile 4 parçalı yarım küre türbülatorde gerçekleştiği görülmektedir. Parça sayısının azalması sürtünme faktörünün de azalmasına sebep olmuştur. Sürtünme faktörü değerlerine genel olarak bakıldığında parçalı yarım küre türbülatorlerin oldukça iyi bir sonuç verdiği görülmektedir.



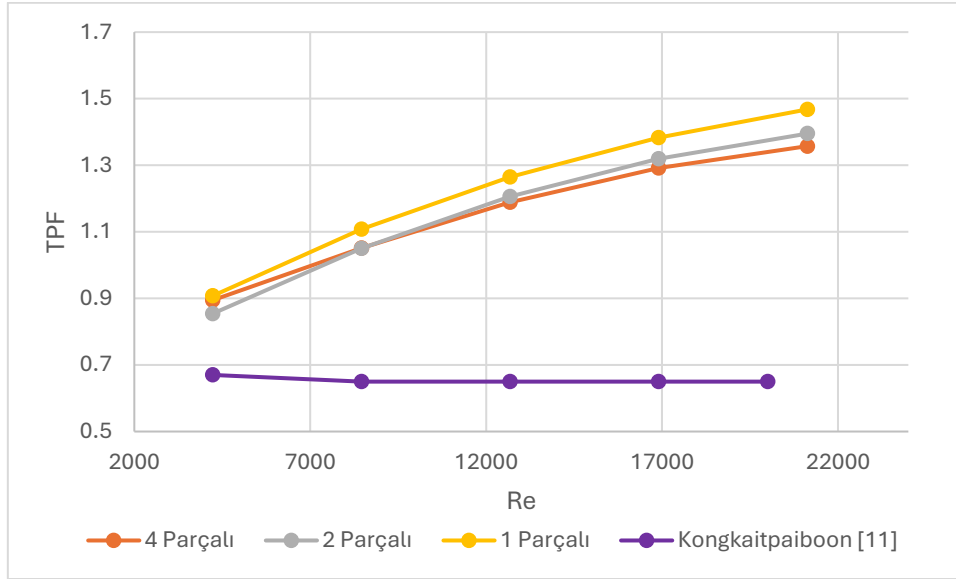
Görsel 4. Tüm Türbülatorlerin $Nu-Re$ değişimi



Görsel 5. Tüm Türbülatorlerin $f-Re$ değişimi

Görsel 6'da $TPF-Re$ değişimi görülmektedir. Türbülatorlerde Nu değerinde artış yakalamak oldukça önemlidir fakat bu artışın yanında f değerlerinde de çok fazla artışın olmaması gerekmektedir. Bu iki durum optimize edilerek yapılacak tasarımların düşünülmesi gerekmektedir. Termal performans faktörünün oluşturulmasında Nu ve f değerlerinin birlikte düşünülmesi elde edilen sonuçların kıyaslanması açısından oldukça önemlidir. Görsel 6 incelendiğinde 1 parçalı yarım küre türbülatorlerin 1.46 ile en yüksek TPF değerine ulaştığı görülmektedir. Diğer türbülatorler kıyaslanırken 8450 Re değerinden önce 4 parçalı yarım küre

türbülötörlerin daha iyi performans sergilediği görülürken, 8450 Re değerinden sonra ise 2 parçalı yarım küre türbülötörlerin daha iyi bir performans sergilediği görülmektedir.



Görsel 6. Tüm Türbülötörlerin $TPF-Re$ değişimi

Literatürde yer alan Kongkaitpaiboon vd. [11] yaptıkları çalışmanın verileri de Görsel 6 içerisinde verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde, parçalı yarım küre türbülötörlerin bütün değerlerinin, Kongkaitpaiboon vd. [11]'nin yaptığı çalışmadan daha fazla olduğu görülmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Isı değiştiricilerinde kullanılan türbülötörlerin ısı transferini arttırdığı bilinmektedir. Bu çalışmada, Nu değerlerinde artışın maksimum, aynı zamanda f değerlerinde artışın minimum olmasını sağlayacak parçalı yarım küre türbülötörler analiz edilmiştir. Parça sayısının artmasının hem Nu değerlerinde hem de f değerlerinde artışa sebep olduğu görülmektedir. En yüksek Nu artışı 2.2 kat ile 4 parçalı yarım küre türbülötörde gerçekleşirken, f değerlerinde de en yüksek artış 0.12 ile 4 parçalı yarım küre türbülötörde gerçekleşmiştir. Termal performans faktörleri incelendiğinde 1 parçalı yarım küre türbülötörlerin bu çalışma özelinde en ideal seçenek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, 1 parçalı türbülötörlerin sürtünme faktöründe oldukça az bir artışa sebep olmasıdır.

KAYNAKÇA

- 1) Hassan, J. H., & Hameed, V. M. (2022). Evaluate the hydrothermal behavior in the heat exchanger equipped with an innovative turbulator. *South African Journal of Chemical Engineering*, 41, 182-192. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.06.003>
- 2) Zhao, J., Reda, S. A., Al-Zahrani, K. S., Singh, P. K., Amin, M. T., Tag-Eldin, E., & Emami, F. (2022). Hydro-thermal and economic analyses of the air/water two-phase flow in a double tube heat exchanger equipped with wavy strip turbulator. *Case*

- Studies in Thermal Engineering, 37, 102260.
<https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102260>
- 3) Fang, Y., Mansir, I. B., Shawabkeh, A., Mohamed, A., & Emami, F. (2022). Heat transfer, pressure drop, and economic analysis of a tube with a constant temperature equipped with semi-circular and teardrop-shaped turbulators. *Case Studies in Thermal Engineering*, 33, 101955. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101955>
 - 4) Xie, C., Mansir, I. B., Mahariq, I., Singh, P. K., Arsalanloo, A., Shahzad, R. M., & Jarad, F. (2022). Performance boost of a helical heat absorber by utilization of twisted tape turbulator, an experimental investigation. *Case Studies in Thermal Engineering*, 36, 102240. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102240>
 - 5) Pourahmad, S., Pesteei, S. M., Ravaei, H., & Khorasani, S. (2021). Experimental study of heat transfer and pressure drop analysis of the air/water two-phase flow in a double tube heat exchanger equipped with dual twisted tape turbulator: Simultaneous usage of active and passive methods. *Journal of Energy Storage*, 44, 103408. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103408>
 - 6) Xiong, Q., Izadi, M., Shehzad, S. A., & Mohammed, H. A. (2021). 3D numerical study of conical and fusiform turbulators for heat transfer improvement in a double-pipe heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 170, 120995. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.120995>
 - 7) Nakhchi, M. E., Hatami, M., & Rahmati, M. (2021). Experimental investigation of performance improvement of double-pipe heat exchangers with novel perforated elliptic turbulators. *International Journal of Thermal Sciences*, 168, 107057. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.107057>
 - 8) Dirker, J., Meyer, J. P., & Steyn, R. M. (2021). Influence of ring type flow turbulators on the local heat transfer coefficients in an annular passage—An experimental and numerical investigation. *International Journal of Thermal Sciences*, 168, 107052. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.107052>
 - 9) He, Y., Geng, Y., Guo, S., Ma, R., & Li, Z. (2024). A machine learning approach and numerical investigation for intelligent forecasting of entropy generation rate inside a turbulator-inserted solar collector tube. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 158, 375-384. <https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2023.11.006>
 - 10) Esmaeili, Z., Vahidhosseini, S. M., & Rashidi, S. (2024). A novel design of double pipe heat exchanger with innovative turbulator inside the shell-side space. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 155, 107523. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2024.107523>
 - 11) Kongkai paiboon, V., Nanan, K., & Eiamsa-Ard, S. (2010). Experimental investigation of convective heat transfer and pressure loss in a round tube fitted with circular-ring turbulators. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37(5), 568-574. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2009.12.016>

ÖRNEK BİR RÜZGAR SANTRALİNDE SEKONDER KORUMA RÖLELERİNİN KOORDİNASYONU

İbrahim Halil YILMAZ

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
i.hll.yilmaz@gmail.com - 0009-0002-4889-6195

Dr.Necmi Cemal ÖZDEMİR

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
necmi.ozdemir@kocaeli.edu.tr - 0000-0003-2914-3577

ÖZET

Rüzgar santralleri, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Ancak, rüzgar santrallerinin çalışması sırasında aşırı akım gibi çeşitli arızalar meydana gelebilir. Bu arızalar, rüzgar türbinlerinin ve şebekenin güvenliğini tehdit edebilir. Bu nedenle, rüzgar santrallerinde aşırı akım korumasının sağlanması büyük önem arz etmektedir. Aşırı akım koruması, rüzgar türbinlerinde bulunan aşırı akım koruma rölelerinin kullanılması ile sağlanır. Bu röleler, belirli bir akım değerini aştığında devre kesiciyi açtırarak aşırı akımı önler. Aşırı akım koruma röleleri, doğru şekilde koordine edilmelidir. Aksi takdirde, arızalar doğru şekilde temizlenemeyebilir ve sistemde istenmeyen kesintilerle birlikte ekipmanların kullanılamaz hale gelmesine yol açabilir. Bu makalede, örnek bir rüzgar santralinde aşırı akım koruma rölelerinin koordinasyonunun nasıl yapıldığı açıklanacaktır. Örnek bir rüzgar santrali tesisinin, kısa devre simülasyonu, aşırı akım koruma ayarlarının yapılması ve hata anında sistemin davranışı ETAP(Electric Transient Analyser Program) yazılımı kullanılarak simüle edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : aşırı akım koruması, rüzgar santrali, kısa devre, röle koordinasyonu

1. GİRİŞ

Elektrik güç sistemlerinin korunması birçok farklı koruma cihazı vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu cihazların sadece tek bir özelliği olduğu gibi birçok özelliği bir arada bulunduran cihazlarda bulunmaktadır. Koruma cihazları, koruma görevini tek başına değil bir sistemin parçası olarak görev yaparlar ve bu sistemde karar verici pozisyonlardır. Koruma cihazları, korunmak istenen sistemde bulunan akım transformatörleri üzerinden anlık akım değerlerini alır ve bu değerler belirlenen akım değerinin üzerine çıktığında devreye girerek devre kesiciye açma sinyali gönderirler. Sistemin sürekli olarak korunabilmesi için bu ekipmanların hepsinin sağlıklı bir şekilde çalışıyor olması gerekmektedir. Bu cihazlar, hassasiyet, seçicilik, güvenilirlik ve hız gereksinimleri ile birlikte hayati ve en temel işlevlerini yerine getirmelerini sağlamak için iyi bir şekilde koordine edilmelidir[1]. Bu koordinasyonun sağlanabilmesi için birçok parametrenin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Sistemde oluşabilecek kısa devre akımları, sistemde kullanılan kesicilerin açma süreleri, seçilen ekipmanların dayanım kapasiteleri, koruma cihazlarının açma eğri türleri ve koruma cihazlarının tepki süreleri bunlardan bazılarıdır.

Sistemin birçok parametresinin göz önünde bulundurularak hesap yapılması gerektiğinden simülasyon programları kullanılarak koruma rölelerinin ayarları ve ayarlarının yapılabilmesi için gerekli diğer analizler simülasyon programları yardımıyla yapılmaktadır. Koruma ayarları yapılırken temel istekler ekipmanın/şebekenin zarar görmemesi ve arızanın yalnızca arıza yaşanan kısmı izole ederek sistemi korumasıdır. Bu sayede arıza en kısa yoldan temizlenmiş olur ve sağlıklı çalışan noktalarda istenmeyen enerji kesintilerinin önüne geçilmiş olur. Bu seçici çalışmayı sağlayabilmek adına koruma cihazlarında birçok koruma tipi geliştirilmiştir. Güç sistemi şebekesindeki aşırı akım koruması, anlık aşırı akım röleleri, ters zamanlı aşırı akım röleleri, kesin zamanlı aşırı akım röleleri, ters kesin minimum zamanlı (IDMT) aşırı akım röleleri, çok ters aşırı akım röleleri ve aşırı ters aşırı akım röleleri olarak kategorize edilen akım koruma röleleri yardımıyla gerçekleştirilir. Bu röle türleri arasında ters zaman akım özelliklerine sahip olanlar çoğunlukla iletim ve dağıtım sistemlerinde kullanılır. Bunun nedeni, geniş bir kısa devre akımı aralığında makul ve anlamlı bir hızlı çalışma sağlamalarını sağlayan nispeten düz zaman-akım özelliklerine sahip olmalarıdır[2-3].

2. MATERYALLER VE YÖNTEM

2.1. Materyaller

Analizde örnek bir rüzgar türbini santralinin verileri, ABB REF615 verileri ve ETAP 21.0.1 programı kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Örnek bir rüzgar santralinde aşırı akım röleleriyle koruma sistemini arızalardan korumak için seçici aşırı akım koruma ayarları ve koordinasyonu uygulaması amaçlanmıştır. Aşırı akım korumasında IEC ters zamanlı aşırı akım(IEC Normal Inverse Time) ve sabit zamanlı ani aşırı akım korumaları kullanılmıştır.

2.2.1. IEC Ters Zamanlı Aşırı Akım Koruması

IEC normal ters eğrisi, aşırı akım rölelerinin çalışma süresini akımın büyüklüğüne göre belirleyen bir eğridir. Bu eğri, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından tanımlanmıştır ve birçok ülkede aşırı akım rölelerinin ayarlanması için kullanılır. IEC normal ters eğrisi, logaritmik bir eğridir. Bu, eğrinin yatay eksenini (akım) ve dikey eksenini (çalışma süresi) arasındaki ilişkinin logaritmik olduğu anlamına gelir. Eğrinin şekli, aşağıdaki denklemlerle tanımlanır:

$$T = \left[\frac{K}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^L - 1} + C \right] \times TM \quad (1)$$

Burada;

T=Açma Süresi

K=0,14

L=0,02

C=0

I=Nominal Akım

I_s=Hata Akımı

TM= Zaman Çarpanı

Standartta sabit olarak geçen K, L ve C değerleri koruma rölelerinin bazılarında ayarlanabilir haldedir. Bu özellik standartta tanımlanan eğrinin dışında kullanıcı tanımlı eğri tanımlanmasına imkan sağlar.

IEC normal ters eğrisi, aşırı akım rölelerinin koordinasyonunu sağlamak için kullanılır. Koordinasyon, rölelerin arızalı bölümü izole etmek için doğru sırayla çalışmasını sağlar. IEC normal ters eğrisi kullanılarak, röleler öyle ayarlanır ki, arızalı bölüme en yakın röle en kısa sürede çalışır ve arızalı bölümden uzaklaştıkça rölelerin çalışma süreleri uzar.

2.2.2. IEC Sabit Zamanlı Aşırı Akım Koruması

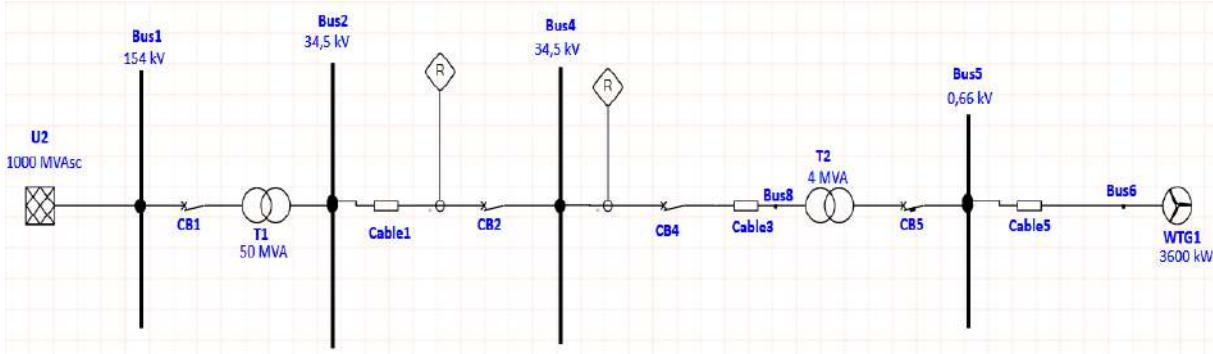
IEC sabit zaman eğrisi, aşırı akım rölelerinin çalışma süresini akımın büyüklüğünden bağımsız olarak sabit bir değerde tutan bir eğridir. Bu eğri, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından tanımlanmıştır ve birçok ülkede aşırı akım rölelerinin ayarlanması için kullanılır.

IEC sabit zaman eğrisi, yatay bir çizgidir. Bu, eğrinin yatay eksenini (akım) ve dikey eksenini (çalışma süresi) arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu anlamına gelir. IEC sabit zaman eğrisi, aşırı akım rölelerinin koordinasyonunu sağlamak için kullanılır. Koordinasyon, rölelerin arızalı bölümü izole etmek için doğru sırayla çalışmasını sağlar. IEC kesin zaman eğrisi kullanılarak, röleler öyle ayarlanır ki, arızalı bölüme en yakın röle en kısa sürede çalışır ve

arızalı bölüme uzaklaştıkça rölelerin çalışma süreleri uzamaz. IEC sabit zaman eğrisi sistemde oluşan kısa devre arızalarının hızlıca temizlenmesi amacıyla kullanılır.

2.2.3. Analiz Verileri

Görsel 1’de görüldüğü gibi 1000MVA_{sc} kısa devre gücüne sahip bir şebekeye 3600kW gücünde bir rüzgar türbini generatörü 4MVA gücünde bir step-up trafo üzerinden bağlanmıştır.

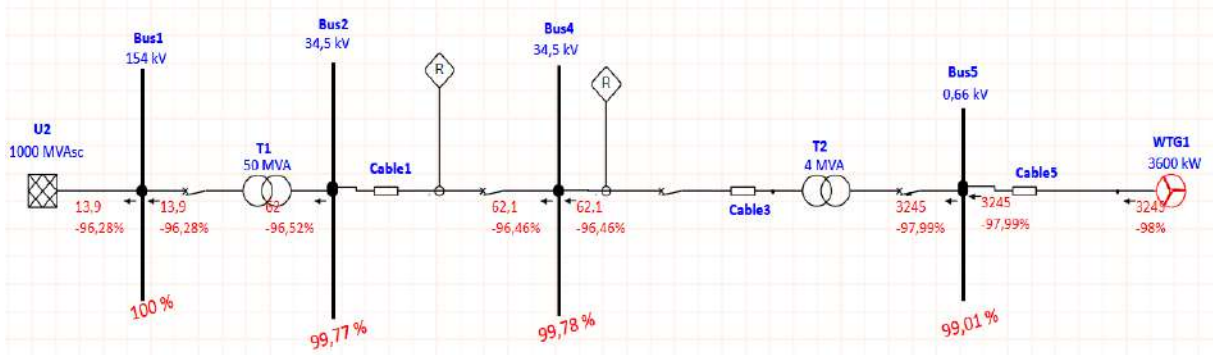


Görsel 3. Tesisin genel tek hat şeması

3. SİSTEM VERİLERİNİN ANALİZ VE SİMÜLE EDİLMESİ

3.1. Nominal Değerlerin Belirlenmesi

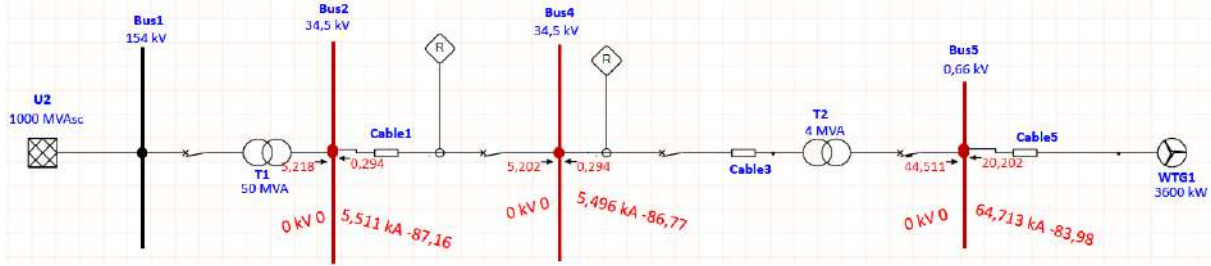
Görsel 1’de görünen sistemin nominal değerleri ETAP programında Load Flow Analysis modülü ile hesaplanarak koruma için nominal değerler belirlenir. Belirlenen bu nominal değerlere uygun olarak koruma ayarlarının yapılması önemlidir. Bu nedenle ETAP programı üzerinden yük akışı analizi değerlerine göre nominal sınır değerleri belirlenir. Bu belirlenen değerlerin üzerindeki akımlarda sistemin aşırı yüklendiği veya bir arıza durumunun söz konusu olduğu anlaşılır. Görsel 2’de sistemin yük akışı görülebilmektedir.



Görsel 2. Yük akışı analizi sonuçları

3.2. Kısa Devre Değerlerinin Belirlenmesi

Şekil-1’de görünen Bus-5, Bus-4 ve Bus-2 baralarında üç fazlı kısa devreler ETAP programına Short Circuit Analysis modülünde oluşturulmuş ve Görsel 3’de görüldüğü gibi kısa devre akımları ETAP programı üzerinden hesaplanmıştır. Çizelge-1’de oluşturulan üç fazlı kısa devrelerin simetrik kısa devre akımı değerleri görülmektedir.



Görsel 3. Kısa devre analizi sonuçları

Çizelge 1. 3 fazlı simetrik kısa devre akımları

	Kısa Devre Akımları	Gerilim Seviyesi
Bus-2	5,511 kA	34,5 kV
Bus-4	5,496 kA	34,5 kV
Bus-5	64,713 kA	0,4 kV

3.3. Selektivite Zaman Aralığı

Selektivite zaman aralığı, bir koruma rölesinin arızayı algılaması ve devreyi kesmesi için geçen süredir. Bu süre, koruma rölesinin ayar değerlerine ve arızanın türüne ve yerine bağlıdır. Elektrik güç sistemlerinde koruma cihazları için selektivite zaman aralığı, mümkün olduğunca kısa olmalıdır. Böylece, arızaların tüm sistemin kararlılığı ve güvenilirliği üzerindeki etkisi en aza indirilebilir. Önerilen selektivite zaman aralığı, güç sisteminin özel gereksinimlerine ve özelliklerine bağlı olarak değişmekle birlikte, genellikle 0,1 ila 0,5 saniye arasında değişmektedir. Daha kısa bir selektivite zaman aralığı, daha hızlı arıza izolasyonunu ve temizlenmesini sağlayarak, kademeli kesintilerin ve ekipman hasarlarının riskini azaltır. Bununla birlikte, çok kısa bir selektivite zaman aralığı, koruma cihazlarının yanlış koordinasyonuna ve istenmeyen tetiklenmesine neden olabilir. Bu da sistemde bozulmalara ve kesintilere yol açabilir. Bu nedenle, hızlı arıza temizleme gereksinimi ile yanlış koordinasyonun önlenmesi arasında bir denge kurulması önemlidir. Böylece, optimum sistem koruması ve güvenilirliği sağlanabilir. Bu çalışmada zaman aralıklarının aşağıdaki değerlerde olduğu kabul edilerek çalışma yapılmıştır.

Röle tepki süresi: 20ms

Kesici açma süresi: 60ms

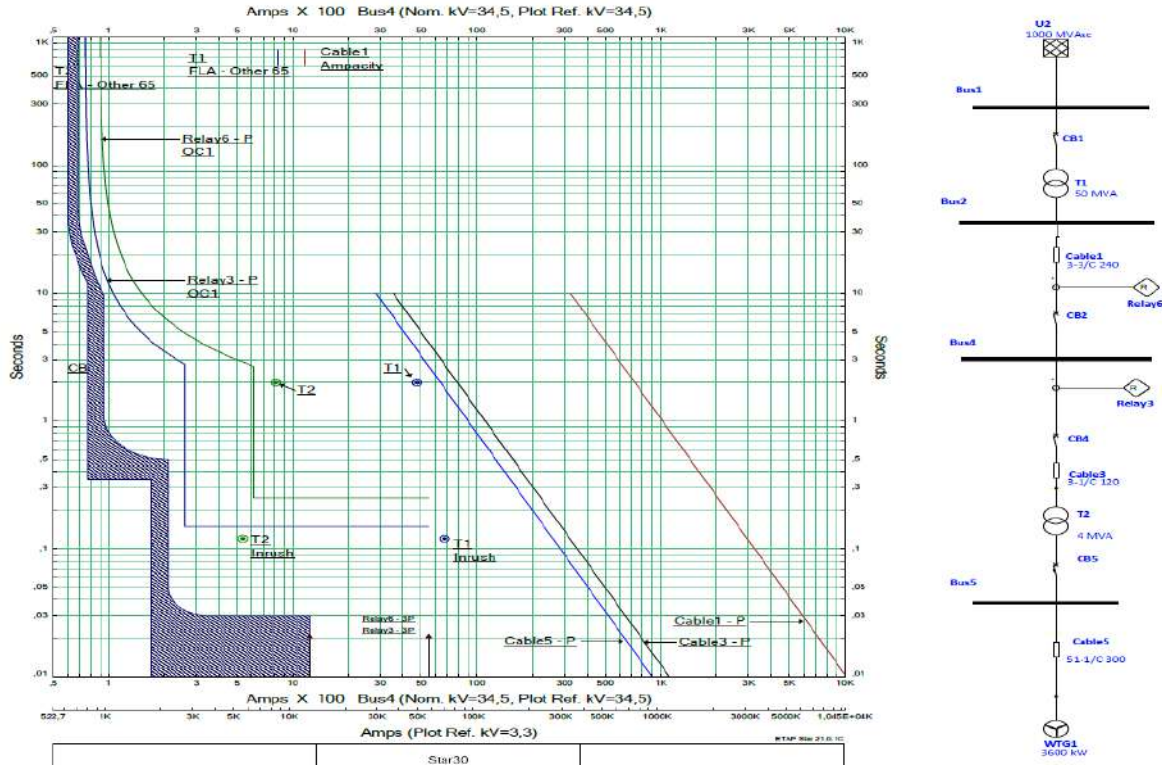
Kesici açma bobini tepki süresi: 20ms

Koruma röleleri arasında bırakılacak minimum sürenin 100ms olduğu kabul edilmiştir.

3.4. Koruma Ayarlarının Yapılması

Sistemde hesaplanan nominal değerler ve üç-fazlı kısa devre akımı değerleri dikkate alınarak alçak gerilim devre kesicisi olan CB5 generatörün nominal akımına ve Bus-5’de hesaplanan kısa devre akımı değerine göre ayarlanır. Daha sonra CB4 devre kesicisi, CB5 devre kesicisinin eğrisine göre ve 100ms selektivite zamanı bırakılarak ayarlanır. Bir sonraki aşamada ise CB2 devre kesicisi, CB4 devre kesicinin eğrisine ve Bus-4’te hesaplanan kısa devre akımı değerine göre ayarlanır. Yapılan ayarlamalarda ayrıca transformatörün termal aşırı yük noktasına ve ilk enerji anında transformatörün çektiği mıknatıslanma akımının değerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Sistemin hatalı

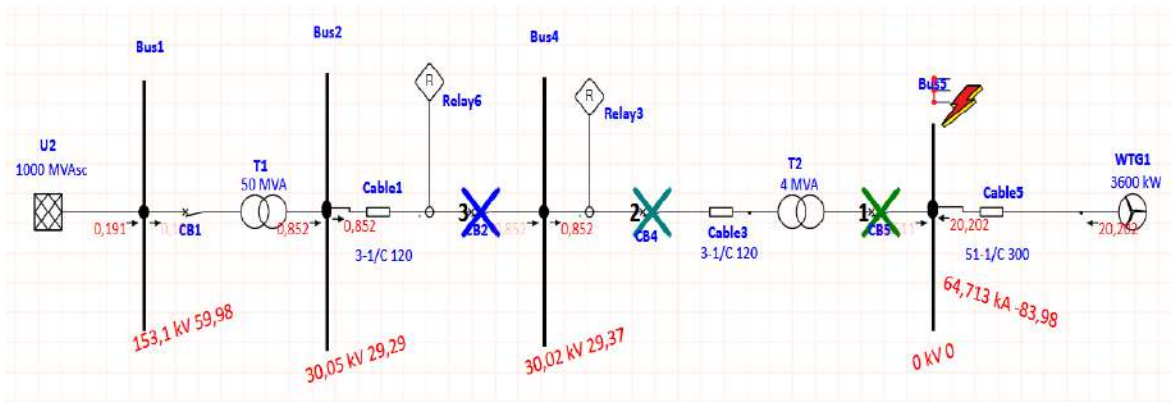
açma yapmaması için bu değerler önem arz etmektedir. Şekil-4’ de yukarıda bahsedilen kurallara uygun olarak yapılan koruma ayarları sonrası ortaya çıkan CB5, CB4(Relay-3) ve CB2(Relay-6) devre kesicilerinin açma eğrileri görülmektedir.



Görsel 4. Devre kesicilerinin açma eğrileri ve sistem tek hattı

3.5. 0.66kV Barasında Oluşan Arızada Sistem Davranışının Test Edilmesi

Sistem üzerinde yapılan ayarların gerçek bir arıza anında hangi sırayla tepki göstereceğini görebilmek adına program üzerinden arıza simülasyonu yapılmıştır. Bus-5 üzerinde oluşturulan bir simülasyon arızasında arızaya en yakın devre kesici olan CB5 kesicisi açma yapmıştır. Sonrasında ise yük akışının tersi yöndeki kesicilerin sırayla açma yaptığı gözlemlenmiştir. 0.66kV barasında oluşan arıza devre kesicilerinin davranışın istenen sırada olduğu görülmüştür.



Görsel 5. Kısa devre anında selektif çalışma simülasyonu

4. SONUÇ

Rüzgar santrallerinin hassas ve güvenilir ekipmanlarla korunması enerji sürekliliği ve arıza anında oluşabilecek maddi zararların önüne geçebilmek adına fazlasıyla önem arz etmektedir. Bu çalışmada sistemde bulunan ekipmanların verileri kullanılarak sistem simüle edilmiş ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar ardından koruma rölelerinin ayarları yapılarak devre kesicilerinin belirli bir sırayla açma yapması sağlanmıştır. Yapılan koruma ayarları sonrasında 0.66kV barasında arıza anı simüle edilmiştir ve devre kesicilerinin açma sırası analiz edilmiştir. Analiz sonucunda sistemde bulunan devre kesicilerinin öngörülen sırada açma yaptığı ve ilk önce arızaya en yakın devre kesicinin açma yaparak arızayı izole etmeye çalıştığı görülmüştür.

KAYNAKÇA

1. Weedy, B. M., Cory, B. J., Jenkins, N., Ekanayake, J. B. and Strbac, G., *Electric Power Systems*, 5th Ed, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd., 2012.
2. Nwachi, G.U., Obi, P.I., Amako, E.A. and Ezeonye, C.S., *Modeling and Simulation of a Coordinated Power System Protection using Overcurrent Relay*, 2022.
3. Nima Rezaei Mohammad Lutfi Othman 1, 2; Noor Izzri Abdul Wahab 1, 2; Hashim Hizam., *Coordination of Overcurrent Relays Protection Systems for Wind Power Plants*, 2014.

ÖRNEK BİR ENDÜSTRİYEL TESİSTE PASİF HARMONİK FİLTRE TASARIMI VE GÜÇ FAKTÖRÜ ÜZERİNE ETKİSİ

İbrahim Halil YILMAZ

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
i.hll.yilmaz@gmail.com - 0009-0002-4889-6195

Prf.Dr.Nuran YÖRÜKEREN

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
nurcan@kocaeli.edu.tr - 0000-0002-5092-4952

ÖZET

Endüstriyel tesislerde doğrusal olmayan yüklerden kaynaklanan harmonikler, enerji kalitesi problemlerinin başlıca nedenlerinden biridir. Bu harmonikler, ekipman arızaları, aşırı ısınma ve sistem kararlılığını olumsuz etkileyerek çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Bu çalışma, bir endüstriyel tesiste harmoniklerin etkilerini azaltmak için tasarlanan filtrelerin etkinliğini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Gerçek ölçüm verileri ETAP yazılımında kullanılarak, baskın harmoniklerin (11. ve 13. mertebe) etkilerini gidermek için filtre tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tuned (Ayarlı) filtreler, toplam harmonik distorsiyonu (THD) %18'den %5,95'e düşürerek sistem performansını çarpıcı bir şekilde iyileştirmiştir. Simülasyonlar, harmoniklerin azaltılması ve güç faktörünün iyileştirilmesinde Tuned (Ayarlı) filtrelerin etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, her tesisin kendine has harmonik profilinin dikkate alınması ve özelleştirilmiş çözümlerin uygulanması gerektiği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler : pasif filtre, enerji kalitesi, güç faktörü, harmonikler, tuned filtre, ayarlı filtre

1. GİRİŞ

Günümüz modern toplumu endüstriye dayalı bir toplum olarak yıllar içinde gelişim göstermiştir. Endüstri arz-talep dengesine bağlı sürekli gelişmiş ve değişmiştir. Artan elektrik talebi ve elektrik sektöründeki modern altyapı gelişimi ile birlikte, harmonikler ve yetersiz güç faktörü gibi birçok enerji kalitesi sorunu artmaktadır.[1] Değişen yük karakteristiğinin getirmiş olduğu bu enerji kalite problemleri birçok ekipmandan dolayı veya doğrudan sorunlara yol açmaktadır. Ortaya çıkan bu enerji kalitesini problemlerinin kaynağı genellikle lineer olmayan yüklerin oluşturduğu nonsinüzoidal akım veya gerilim dalga formlarıdır. Lineer olmayan yüklere örnek olarak kesintisiz güç kaynakları(UPS), frekans kontrollü cihazlar ve invertörler gibi günümüz endüstriyel tesislerinin vazgeçilmez elemanları karşımıza çıkmaktadır.

Lineer olmayan yüklerin zaman içerisinde hızlı bir şekilde artması neticesinde IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) 1981 yılında “**IEEE 519-1981**” standartını yayınlamıştır. Yayımlanan bu standart elektriksel harmoniklerin sınırlandırılması ve kontrolü için rehber niteliği taşımaktaydı. IEEE yıllar içinde yayınlamış olduğu bu standartı güncellemiştir. Endüstrinin gelişimi ile beraber başta harmonikler olmak üzere artan enerji kalitesi sorunları araştırmacılar ve sektör çalışanları için bir endişe kaynağı olarak görülmüştür. Enerji kalitesindeki bu bozulmanın getirmiş olduğu sorunlar en çok elektronik sistemler, motorlar ve kablolarda kendini göstermiştir. Özellikle harmoniklerin sistemde oluşturduğu etkiler ciddi sorunlara yol açmaktadır.

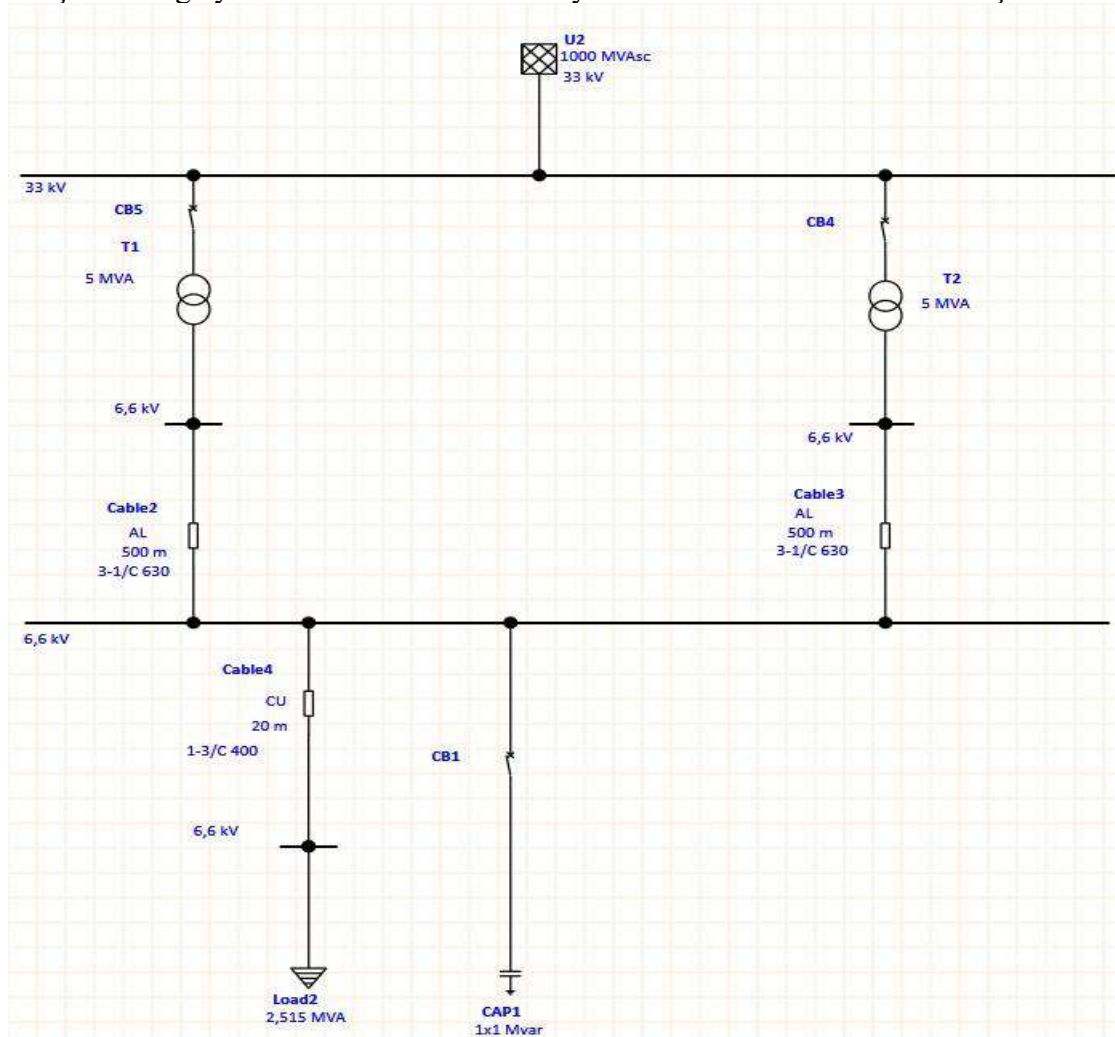
Bu çalışmada günümüz endüstriyel tesislerinde en büyük enerji kalitesi sorunlarından biri olan harmoniklerin sistem üzerinde yarattığı bozucu etki incelenmiştir. Harmoniklerin oluşturduğu bu bozucu etkinin ortadan kaldırılması için pasif güç filtresi tasarımı yapılmış ve bu tasarımı yapılan bu filtrelerin güç kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tasarımı yapılan filtre yükün baskın harmonik mertebeleri göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda filtrelerin sisteme etkisi simülasyon ortamında analiz edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. ÖRNEK BİR VAKA ANALİZİ

2.1. Sistemin Analiz Edilmesi ve Sorunun Tespiti

Bu çalışmada demir-çelik endüstrisinde faaliyet gösteren bir firmada bulunan harmonikli bir yükün güç faktörünün düzeltilmesi için tesis edilen kompanzasyon panosunun tasarım hatası nedeniyle nasıl bir soruna yol açtığı ve bu sorunun çözüme kavuşması için ne yapılması gerektiği analiz edilmiştir. Analiz çalışması ETAP(Electrical Transient Analyzer Program) yazılımı kullanılarak tesis simüle edilmiştir.

Tesisin bağlı olduğu şebeke 50Hz frekansında ve 33kV seviyesinde gerilim seviyesine sahiptir. Şebekeden gelen güç iki adet paralel çalışan eşdeğer 5MVA gücündeki transformatörler ile 2,515MVA gücündeki yük 500 metre uzunluğundaki 630mm² kesitinde alüminyum kablo ile beslemektedir. 2,515MVA gücünde olan bu yükün güç faktörü değeri %80 olarak tespit edilmiştir. Bu yükün güç faktörünü iyileştirmek adına kurulan 1MVAr gücündeki kompanzasyon panosu sonrasında tesisin güç faktörü %96,92 değerine yükselmiştir ancak kompanzasyon panosunun devreye alınması ile birlikte birçok sorun baş göstermiş ve bu sorunların tespit edilmesi için çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışma ve ölçümler sonucunda tesiste ciddi derecede harmonik tespit edilmiştir. Özellikle kompanzasyon panosunun devrede olduğu durumlarda %THDv ve %THDi değerlerinin çok yüksek seviyelere çıktığı görülmüştür. Kompanzasyon panosunun devreye girdiği durumda yüksek bozulma meydana gelmesi kompanzasyon sisteminin hatalı tasarlandığını göstermektedir. Mevcut sistemi bozmadan soruna çözüm sağlayabilmek adına tesis ETAP yazılımı üzerinden simüle edilmiştir.



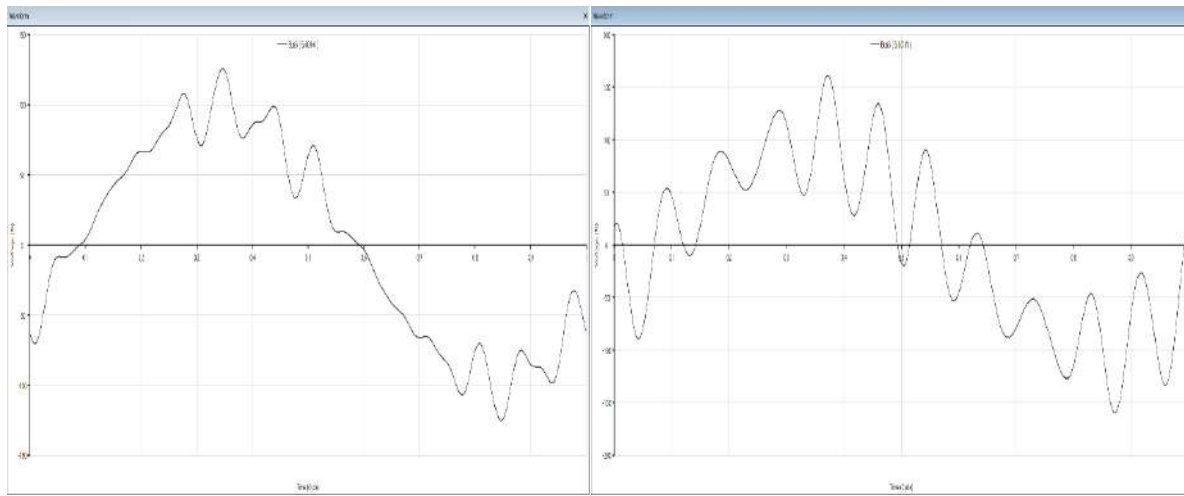
Görsel 1. Tesisin genel tek hat şeması

2.2. Metot Analizi ve Sistem Simülasyon Sonuçları

Simüle edilen sistemde harmonik bozulmanın tespiti için harmonik yük akış analiz yapılmıştır. THDv değerinin kompanzasyon devredeyken %51,78, kompanzasyon devrede değilken %18 değerinde olduğu program üzerinden hesaplanmıştır. Çizelge 1’de görüldüğü üzere kompanzasyon panosu devredeyken Bus5 bara geriliminin 7,38kV seviyelerine kadar yükseldiği görülmüştür. Bu gerilim yükselmesi de kondansatörlerin izolasyonlarını zorlamakta ve zaman zaman kondansatörlerin patlamasına neden olmaktadır.

Çizelge 1. Kompanzasyon Panosunun Bara Gerilimi ve THD Üzerindeki Etkisi

	Bus5 Gerilimi	THDv
Kompanzasyon Devrede	7,38kV	%51,78
Kompanzasyon Devre Dışı	6,61kV	%18



a)

b)

Görsel 2. Kompanzasyon devre dışı(a) ve kompanzasyon devrede(b) iken gerilim dalga şekilleri

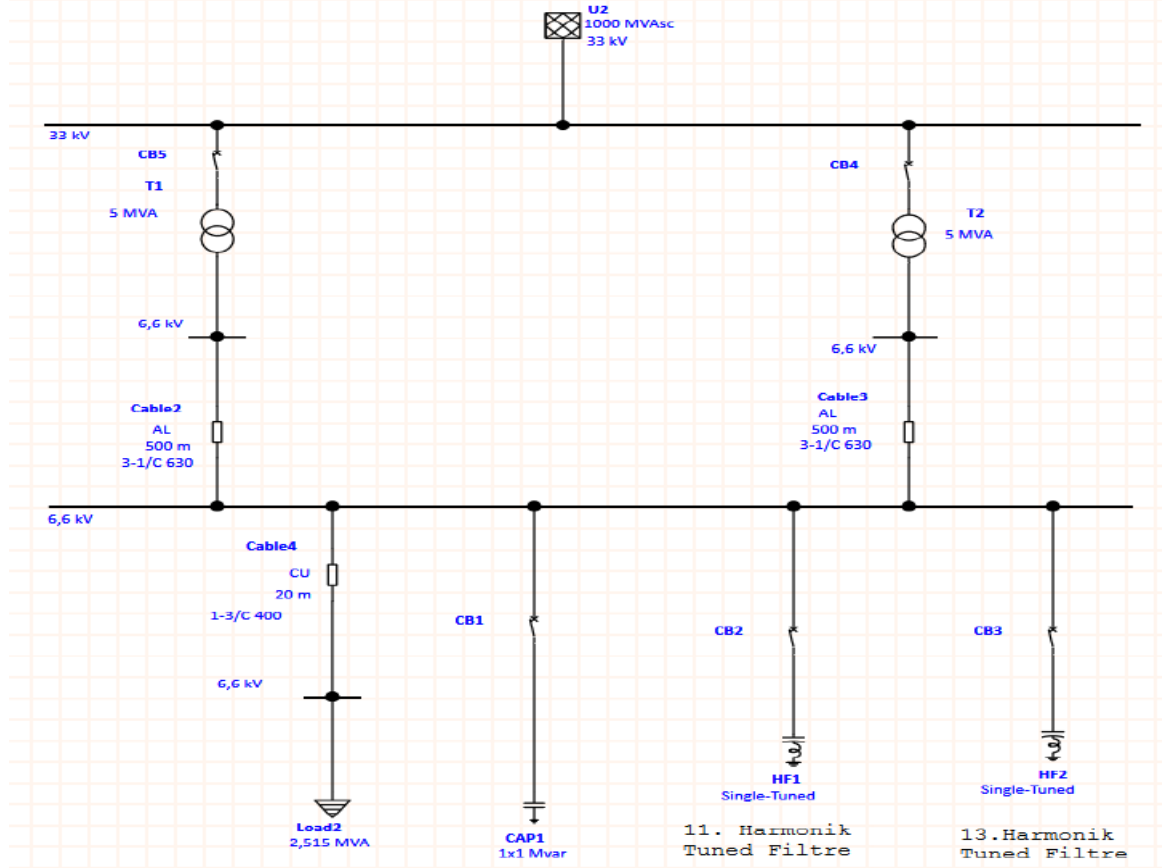
Tesiste yapılan ölçüm sonucunda Çizelge 2’de bulunan harmonik değerlerinin etkin olduğu görülmüştür. 11. ve 13. harmonik değerlerinin sistemde baskın harmonik frekansları olarak karşımıza çıktığı görülmüş ve çözüm olarak harmonik filtrelemenin şart olduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 2. Harmonikli Yük Akımları ve Açıları

Mertebe	1.	3.	5.	7.	9.	11.	13.	17.	19.	23.	25.
Harmonik Akım(A)	219,6	8,6	18,2	17	16,7	101,7	90,5	31,2	21,3	3,3	5,5
Harmonik Açı	0	-132	-135	69	-90	-62	139	9	-155	-158	98

2.3. Filtre Tasarımı ve Filtre Simülasyonları

Tasarım aşamasında sistemde baskın olan 11. ve 13. harmonikler üzerinde durulmuştur. Yapılacak olan filtre tasarımında tek ayarlı(tuned) filtreler tercih edilmiştir. Filtreleme sırasında birinci öncelik harmoniklerin filtre edilmesi ikinci öncelik olarak güç faktörü değerinin %99-%100 seviyeleri olması amaçlanmıştır. Filtre boyutlarının belirlenmesi ETAP programı üzerinden yapılmıştır. 11. ve 13. harmonik filtreler sisteme Görsel 3'teki gibi yerleştirilmiştir.



Görsel 3. Tesisin filtreler sonrası genel tek hat şeması

Yerleştirilen filtreler sonrasında sistemde filtrelerin etkileri farklı durumlar üzerinden simüle edilmiş ve sonuçlar gözlemlenmiştir. Simüle edilenler durumlar aşağıda sıralanmıştır:

1.Durum: Sadece sistemde yükün olduğu durumdur. Yükün kendisinden kaynaklı sistemde oluşan durumlar incelenmiştir.

2.Durum: Yük ile beraber kompanzasyon panosunun devrede olduğu durumdur. Kompanzasyon panosunun bozucu etkisinin görülmesi açısından önemlidir.

3.Durum: Sistemde yük ve kompanzasyon panosu ile birlikte oluşan bozucu etkiye karşılık tasarlanan 11.Harmonik Tuned Filtre'nin sağladığı iyileştirme gözlemlenmiştir.

4.Durum: Sistemde yük ve kompanzasyon panosu ile birlikte oluşan bozucu etkiye karşılık tasarlanan 13.Harmonik Tuned Filtre'nin sağladığı iyileştirme gözlemlenmiştir.

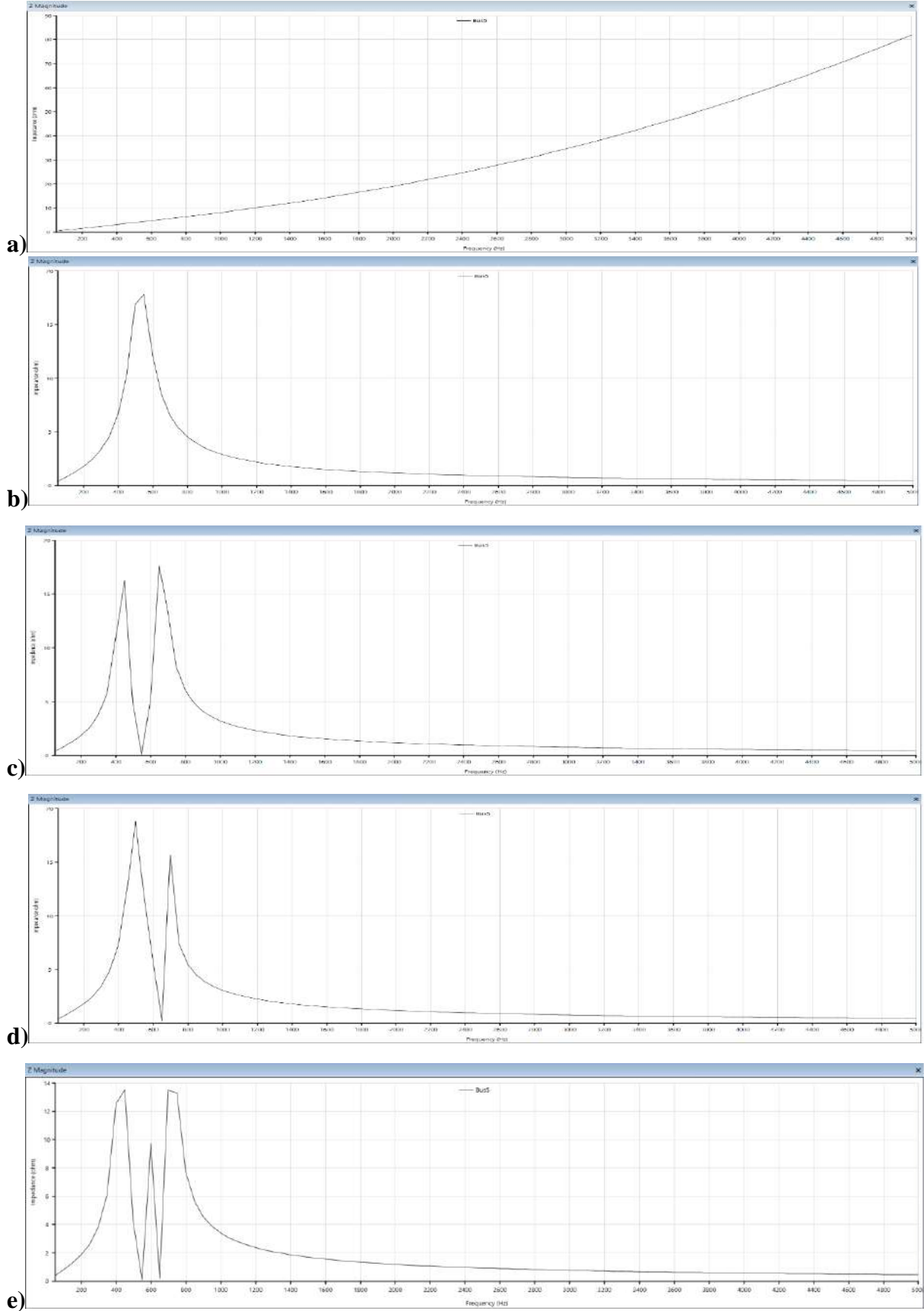
5.Durum: Sistemde yük ve kompanzasyon panosu ile birlikte oluşan bozucu etkiye karşılık tasarlanan 11.ve 13.Harmonik Tuned Filtre'nin sağladığı iyileştirme gözlemlenmiştir.

Çizelge 3'te görüldüğü üzere 2.Durum'da sistemdeki bozucu etki maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Yapılan durum analiz sonucunda karşımıza çıkan en önemli sonuç tekil yapılan filtrelemelerin sistemdeki iyileştirme etkisi çok az olmaktadır. İki filtrenin birden devrede olduğu durumda ise sistemde ciddi bir iyileşme görülmektedir.

Çizelge 3. Simüle edilen durumlara göre sistem tepkisi

	1.Durum	2.Durum	3.Durum	4.Durum	5.Durum
THDv (Bara5)	% 18	%51,78	%42,06	%31,21	%5,95
THDv (Bara4)	%2	%5,83	%4,71	%3,52	%0,659
Bara5 Gerilimi	6,61kV	7,38kV	7,12kV	6,87kV	6,58kV
Güç Faktörü	%80	%96,9	%98,6	%97,5	%99
Harmonikli Yük Akımı	259,2A	261,2A	261,5A	261,3A	261,6A

Tek ayarlı(tuned) filtreler doğası gereği sistemde var olan harmonikleri yok etmezler. Görevleri ayarlanmış oldukları filtre frekansı bölgesinde düşük empedans göstererek harmonik akımların üzerinden akmasını sağlamaktır. Bu nedenden dolayı simülasyon çalışması esnasında her bir durum için Bara5 barasının empedans değerleri de kontrol edilmiştir. Böylelikle tasarlanan filtrelerin doğru frekanslara düşük empedans gösterdikleri ve harmonik akımları üzerine çekebildikleri görülmüştür.

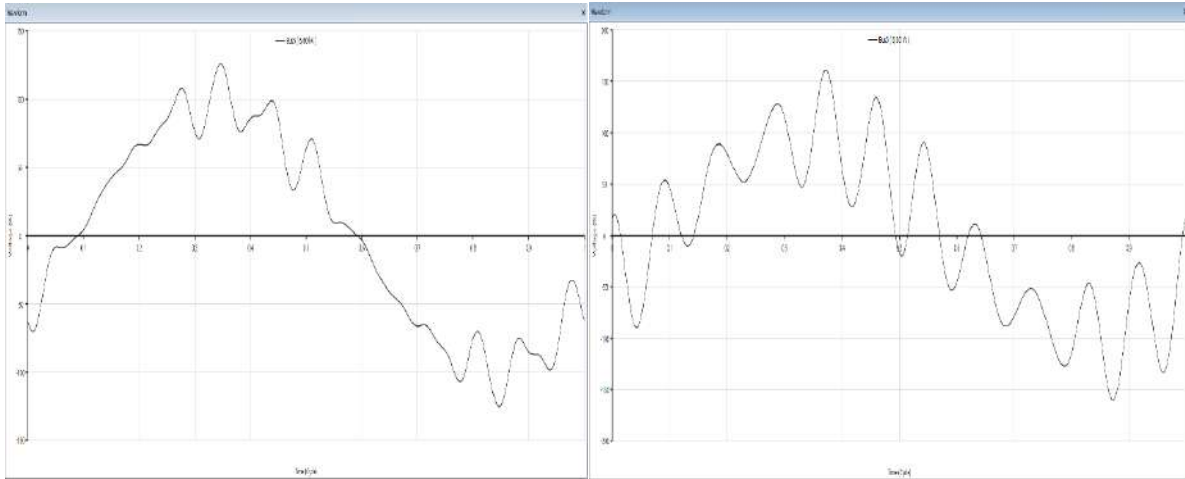


Görsel 4. Bus5 empedans-frekans grafikleri a)1.Durum b)2.Durum c)3.Durum d)4.Durum e)5.Durum

Sadece yükün olduğu 1.Durumda Bus5 barasının empedans değeri 50hz frekansında sağlıklı bir şekilde düşük empedans gösterdiği ve 50Hz üzerindeki sinyallerde ise yüksek empedans gösterdiği görülmüştür. Kompanzasyon panosunun devrede olduğu 2.Durumda ise 550Hz değeri ve üzerindeki diğer frekanslarda Bus5 barasının empedans değeri düşmektedir. Bu durumda harmonik bozunumunu arttırmaktadır. Filtrelerin sisteme dahil edilmesinden sonra filtre frekansı olan 550Hz ve 650Hz değerlerinde Bus5 bara empedansının ciddi derecede düştüğü görülmektedir.

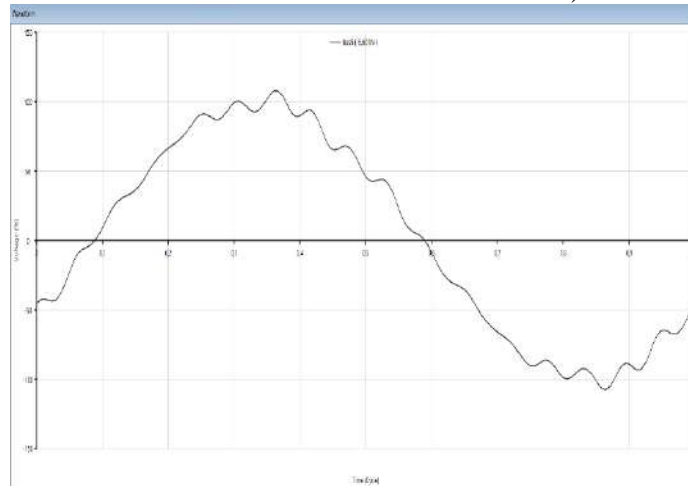
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan bu çalışma sonucunda Çizelge 3'te de görüleceği üzere THDv değerlerinin uluslararası standartların belirlediği sınır değer olan %8 değerinin altına düştüğü ve Görsel 5'te de görüleceği üzere gerilim dalga şeklinin sinüzoidal dalga şekline yaklaştığı görülmüştür. Tesislerde güç faktörü düzeltmesi için kullanılacak olan kompanzasyon panolarının tasarımı yapılmadan önce sistemdeki harmoniklerin kontrol edilmesi tesisin güvenliği için gereklidir. Tesisteki harmonik sorununun filtreler aracılığıyla giderilmesinden ancak kompanzasyon panosu sağlıklı bir şekilde görevini yerine getirebilmektedir.



a)

b)



c)

Görsel 5. 1.Durum(a), 2.Durum(b) ve 5.Durum(c) gerilim dalga şekilleri

KAYNAKÇA

1. Makhijani, P., Parihar B., Soni, C., Solanki, M., *CASE STUDY: POWER FACTOR IMPROVEMENT AND HARMONIC ANALYSIS*, IEEE International Power and Renewable Energy Conference (IPRECON), Karunagappally, 2020.
2. Boonseng, C., Boonseng, R., Kularbphettong, K., *Harmonic Filter Design Using Actual Recorded Data to Prevent Resonance in the Synchronous Generator for Biomass Power Plants*, 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems(ICEMS), Harbin, 2019.
3. Türkay, B., *Harmonic Filter Design and Power Factor Correction in a Cement Factory*, 2001 IEEE Porto Power Tech Conference, Porto, 2001.
4. Boonseng, C., Gitnumlapcharoen, P., *Effect of Low Harmonic Current Under Large Transformers on Harmonic Resonance Assessment in Industrial Systems*, IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), Langkawi, 2022.

A MULTIPURPOSE SOLAR TRACKING SYSTEM ON A UNIVERSITY CAMPUS

Hasan Hüseyin Çevik ¹, Muhammed Gül ²

¹Selçuk University, Faculty of Technology, hasanhcevik@selcuk.edu.tr, 0000-0002-5521-5434

²Maxwatt Enerji Ltd., muh.gul97@gmail.com, 0009-0007-5323-7609

ABSTRACT

Photovoltaic (PV) cells/panels are among the most widely utilized renewable energy technologies due to their long lifespan, low maintenance costs, scalability, and short payback period. Several solutions have been developed to enhance the efficiency of PV systems, with solar tracking systems standing out as one of the most effective. These systems track the sun's movement throughout the day, enabling sunlight to strike the PV panel at an optimal angle and thereby increasing electrical energy generation. In this study, a single-axis solar tracking system was designed and implemented for a 100W monocrystalline PV panel. The system consists of a linear actuator for rotation control, a gel battery for energy storage, two PV cells to detect the sun's position, a LED luminaire for lighting, USB outputs for mobile phone charging, a charge control circuit, and a microcontroller to manage system operations. The solar tracking system was installed in a high-pedestrian-density university campus area and was utilized for various purposes, including lighting, mobile phone charging, and educational demonstrations. To raise awareness about the system, a YouTube video was created, explaining the technical details of its design and installation phases. A QR code linking to the video was placed on the system, and the video has garnered 10K views over two years.

Keywords: Photovoltaic Panel, Single-Axis Tracker, Solar Energy, Solar Tracking System

1. INTRODUCTION

Photovoltaic (PV) cells are devices that convert light energy coming from the sun into electrical energy through the photovoltaic effect. The history of PV cells began in the 1840s and advanced with the invention of the first practical silicon solar cell in the 1900s. By the 1950s, the efficiency of these cells had improved to a range of 6% to 10%, and they were utilized for the first time to power a satellite. In the subsequent decades, the 1960s and 1970s, these cells found application in remote locations with limited or no access to the electrical grid, including communication and weather stations [1].

Today, ground-mounted PV power plants are widely used to supply power to the electrical grid, while rooftop PV systems are extensively employed to meet the self-consumption needs of homes and factories. The decrease in panel prices and the increase in panel efficiency have played a significant role in their widespread use. In 1975, panel prices were over \$100/W, whereas today they have dropped to approximately \$0.3/W [2]. Although

PV modules with efficiencies approaching nearly 50% have been developed, cost-effective commercial products with 20-25% efficiency are the most commonly used [3,4].

There are several ways to improve the efficiency of PV panels. These include selecting more efficient panel types, installation according to the appropriate tilt and azimuth angles for fixed panels, incorporating additional cooling systems, regularly cleaning the panels, and equipping them with sun-tracking capabilities. The amount of electrical energy generated by PV panels depends on the intensity and angle of the sunlight incident on the panel. The intensity of sunlight striking the panel varies based on factors such as location, date, time of day, cloudiness/fog levels, and air pollution. While it is nearly impossible to alter these factors, changing the angle of sunlight reaching the PV panel is possible using solar tracking systems. By adding rotation mechanisms to PV panels, the angle of incidence of sunlight can be maintained closer to perpendicular throughout the day compared to fixed panels. This allows sunlight to strike the panels more directly, increases the duration of sunlight exposure, and consequently results in higher electricity generation.

Solar tracking systems are categorized into single-axis and dual-axis systems. Numerous studies on this topic are available in literature. For instance, a single-axis solar tracking system was developed for a 24W solar panel [5]. LDR sensors were used for sunlight detection, and a stepper motor was employed for rotation. An Arduino Mega was utilized as the controller. The system, costing \$147, demonstrated a 25% efficiency improvement compared to a fixed-angle system. In another study, a single-axis solar tracking system was implemented for a 30W panel using a PIC18F877A microcontroller. A DC motor was used for rotation, and LDR sensors were employed for light detection. As a result of the instantaneous power measurements, it was observed that the solar tracking system produced more energy than the fixed system [6].

A study focused on minimizing the energy consumed for solar tracking has been conducted [7]. In addition to the solar tracking system, a system incorporating a small sensor called PILOT and a mini electric motor was utilized. Instead of moving the entire system continuously, the PILOT system moves first. When the angular difference between the PILOT system and the solar tracking system exceeds a predefined threshold, the solar tracking system begins to move. This approach reduced energy consumption for rotation by 20%, making the system more efficient. In another study, a low-power panel was used to develop a prototype single-axis and dual-axis solar tracking system to charge a 1.5W mobile phone [8]. Compared to a fixed panel, the single-axis system demonstrated a 30% increase in efficiency, while the dual-axis tracking system improved efficiency by 40%.

In this study, a single-axis solar tracking system was designed and implemented. The installation of this system was made at a point where there is a high density of people in the university campus. It served three purposes simultaneously: providing lighting for nearby seating benches, enabling students on campus to charge their mobile devices, and functioning as an educational tool for the renewable energy sources course. A 100W solar panel was installed at a tilt angle of 30 degrees facing south and was designed to rotate in the east-west direction. The panel tracks the sun every 10 minutes throughout the day. A video documenting the setup process and technical details of the system was created, and a QR code linking to this video was placed on the solar tracking system. The video has been viewed 10,000 times over the past two years. While most studies in the literature involve prototype systems with small

panels ranging from 20W to 50W, the system designed and implemented in this study stands out as an active, fully operational system that simultaneously achieves multiple objectives.

2. DESIGN and IMPLEMENTATION OF THE SOLAR TRACKING SYSTEM

A single-axis solar tracking system consists of three main components: hardware, software, and mechanical system. The hardware component comprises electronic components and the electrical input-output units used in the system. Initially, the circuit was made operational using electronic components on a breadboard. Subsequently, software trials were conducted on the microcontroller to ensure the electronic circuit operated as intended. The design of the mechanical system was carried out in a 3D environment, considering the dimensions of the PV panel. Then, steel profiles were cut and welded suitable for this design to complete the supporting structure and the framework where the panel would be mounted. Finally, the electronic circuit and software were tested using the actual input-output components employed in the system. Necessary improvements were made based on the test results, and the system was ultimately made operational.

Table 1. System Components and Technical Specifications

Component Name	Technical Specifications
Solar Panel	Monocrystalline, 100W, $V_{mp}=20.7V$, $I_{mp}=5.05A$,
Sensors	2x5V PV Cell
Linear Actuator	12 V, $I_{max}=4.2 A$, Speed:7.5 mm/s, Torque:200 kg.cm
Gel battery	12V, 40Ah, Lead Acid Gel
LED	12V, 10W
USB Charging Ports	2x2 (1A and 2.1A)
Solar Charge Controller	12V, 20A, 240W
Microcontroller	Arduino Uno
Standing Mechanism	Steel Profile



Figure 1. Front Perspective of the Single-Axis Solar Tracker

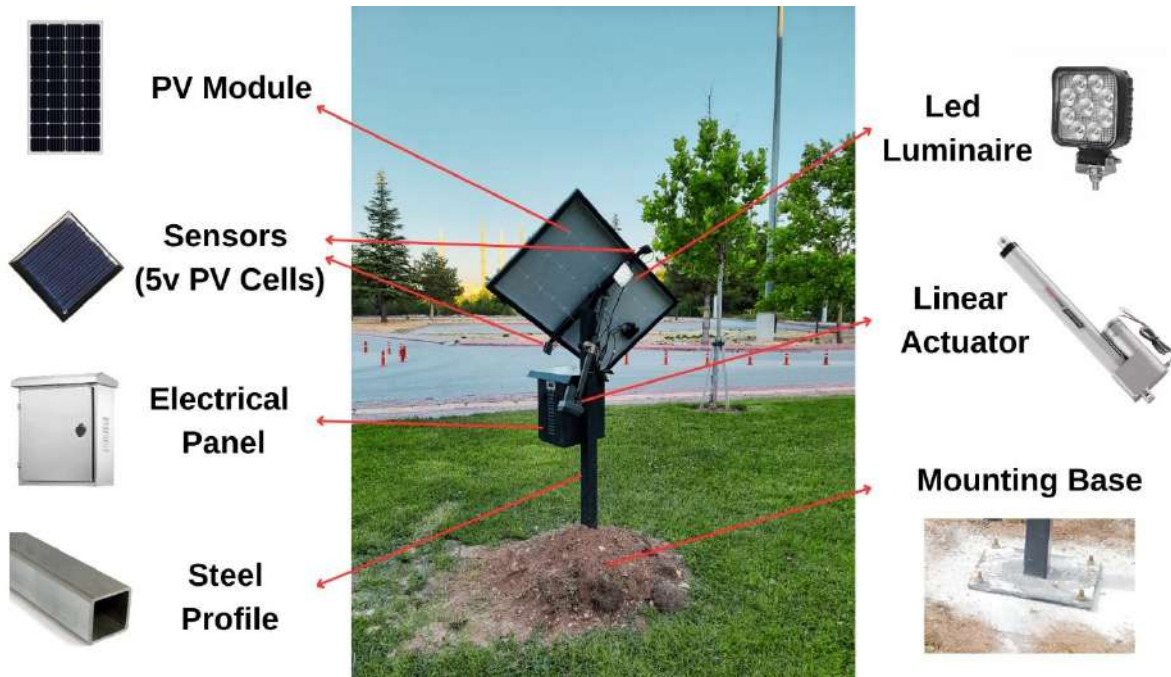


Figure 2. Rear Perspective of the Single-Axis Solar Tracker

2.1. Components

The components of the solar tracking system and their technical details are provided in Table 1. The front view of the system after installation is shown in Figure 1. The PV panel is oriented southward with a tilt angle of 30 degrees. During the day, it tracks the sun's movement along the east-west axis. The rear view of the system is shown in Figure 2. As seen in Figure 2, the sensors are placed on the ground to the right and left of the 100W PV panel at a tilt angle of 45 degrees. These sensors are read every 10 minutes. The rotational movement is performed using a linear actuator. The rotation limits in the east and west directions are restricted by limit switches located inside the linear actuator. The LED luminaire used for lighting is mounted on the rear side of the panel. Additionally, an electrical panel is placed beneath the panel. To mount the solar tracking system to the ground, the area was excavated, and a concrete manhole cover was placed here. The system is fixed onto this cover using steel anchors.

Figure 3 shows the components located inside the electrical panel. The solar charge controller is used to regulate the voltage generated by the PV panel to a level suitable for charging the battery and powering the lighting system. A total of four USB charging ports are installed underneath the solar charge controller to charge mobile phones. At the bottom of the electrical panel, a gel battery is used. Gel batteries are commonly preferred in PV systems because they are resistant to deep discharge cycles. Finally, a control box is also located inside the electrical panel. This box contains three buttons on it. The yellow buttons on the right and left sides are for manually rotating the panel east and west directions. The green button in the middle is the on/off button. Inside the control box, there is an Arduino Uno as a

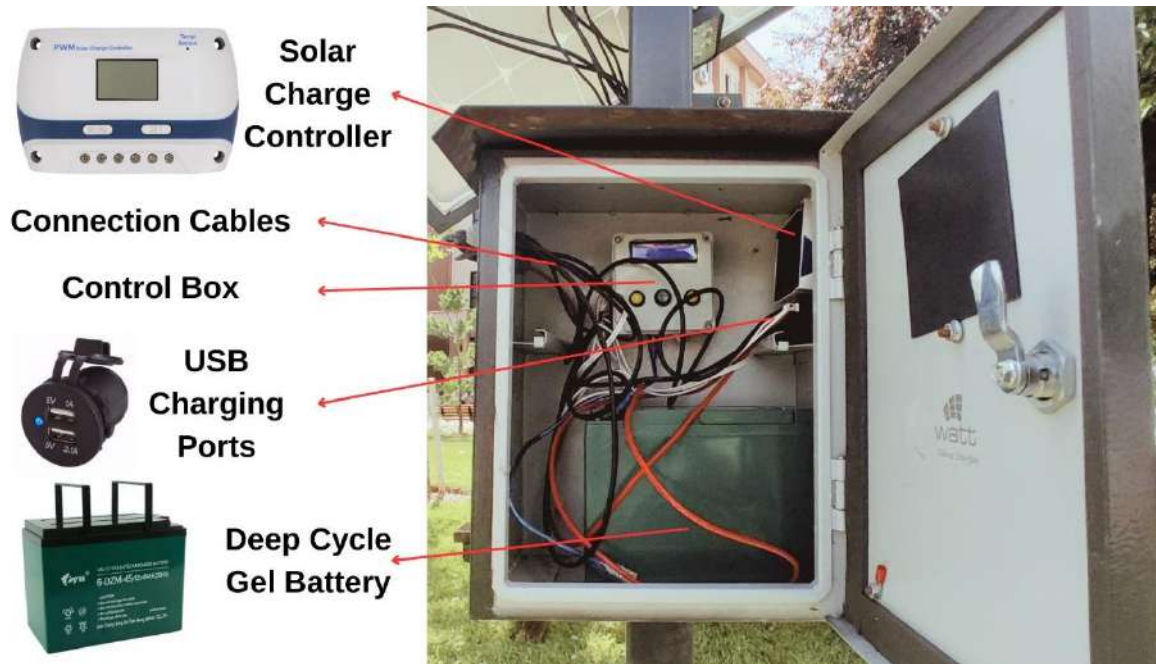


Figure 3. Inside the Electrical Panel

microcontroller, an LCD screen for displaying sensor values, and a custom-designed PCB board for driving the outputs. The developed PCB board is shown in Figure 4.

2.2. Working Principle

Arduino Uno was used as the microcontroller in the system. The operation of the software loaded onto the controller proceeds in the following sequence:

- The voltage values generated by the two sensors (PV cells) placed at an angle next to the PV module are sent to the analog inputs of the controller.
- The analog voltage values are converted to digital using the analog-to-digital converter in the microcontroller.
- The two digital values are compared. If the sensor value in the south direction is 4% greater, the panel is moved southward. If the sensor value in the east direction is 4% greater, the panel is moved eastward. Otherwise, the panel is not rotated.
- During each movement, the real-time changes in the sensor values are dynamically read. Movement continues until the difference between the two sensor values is reduced to 1%. In this way, the orientation of the sun relative to the panel is optimized.
- This process is repeated every 10 minutes. The interval is not made shorter because a shorter duration would cause the panel to rotate continuously, consuming excessive energy.
- In the evening, as sunlight decreases, the voltage values from the sensors drop to a minimum level. When the values from both sensors fall below 1V, the system detects that it is evening and moves the panel back to the east position.
- Since it is detected to be evening, the LED luminaire is also turned on.

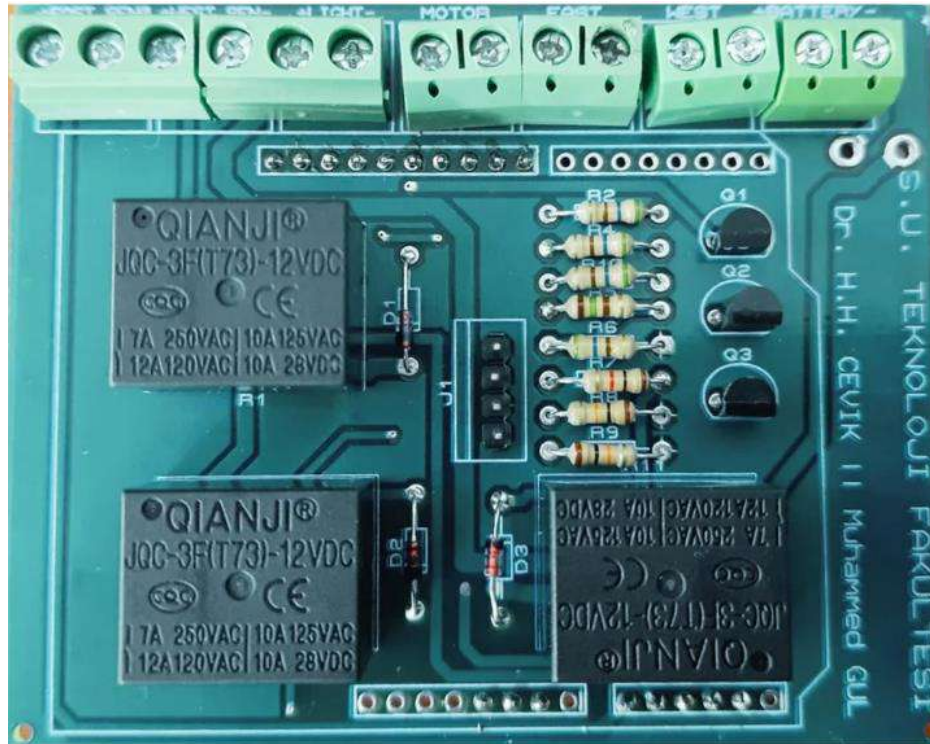


Figure 4. Developed PCB Board for Solar Tracking System

- Additionally, while in night mode, the system continuously monitors the battery status. If the battery voltage drops below the predefined threshold, all outputs are turned off to protect the system. This prevents the battery from completely discharging, ensuring the longevity of the system.
- In the morning, as the sun rises and the voltage values from the sensors exceed 1V, the LED luminaire is turned off.
- Throughout the day, the solar tracking system performs its rotation from east to west.

2.3. Site Selection

The installation of the solar tracking system was planned by examining the areas surrounding the Faculty of Technology located on the Selçuk University Campus. Figure 5 shows the top view of the faculty building. The areas to the right and behind the faculty were deemed unsuitable for installation as they are used as car parking lots. Similarly, the areas to the left and in front of the faculty were not suitable due to excessive shading caused by the trees in these locations. Considering the orientation of the faculty, the solar tracking system was installed at the location marked with a red bookmark in Figure 5.



Figure 5. Selected Site for Installation



Figure 6. QR Code for Accessing the Solar Tracker Introductory Video

3. RESULTS AND DISCUSSION

This study focuses on a single-axis solar tracking system with three main objectives: lighting, mobile phone charging, and use as an educational material. The lighting function addresses the illumination needs of the seating area located behind the installation site, which previously lacked sufficient lighting. With the installation of the solar tracking system, this area's lighting requirements have been met. The second objective is to meet the mobile phone charging needs of students through the four USB charging ports (2x1A, 2x2.1A) integrated into the solar tracking system. Lastly, the system serves as an educational tool for the Renewable Energy Sources course given by the Department of Electrical and Electronics Engineering. Students enrolled in the course are brought near to the solar tracking system, where the process of solar tracking is explained through observation of both manual control and automatic operation.

A video explaining the operation, design, implementation processes, and technical details of the solar tracking system has been prepared. This 10-minute video has been uploaded

to the YouTube platform. Additionally, a QR code providing access to the video has been created and this QR code can be seen in Figure 6. A poster containing this QR code has been pasted onto the solar tracking system. Thus, people passing near the solar tracking system could watch the video by scanning the QR code. Over the past two years, the video has been viewed 10,000 times, thereby increasing awareness of the solar tracking system

4. CONCLUSION

In this study, a single-axis solar tracking system was designed, implemented, and installed on the university campus. Most studies in the literature involving solar tracking systems use small panels with power outputs ranging from 20 to 50W and are developed only for short-term testing and measurement purposes. In contrast, the solar tracking system implemented in this study has been actively operating for two years and continues to function, distinguishing it from similar examples in literature. A video explaining the system's operation and details has been prepared, and the information about the system has been digitized. This video has been uploaded to the YouTube platform, making the information publicly accessible.

REFERENCES

- [1] Marques Lameirinhas, R. A., Torres, J. P. N., Melo Cunha, J. P. A photovoltaic technology review: History, fundamentals and applications, *Energies*, 15(5), 2022.
- [2] IRENA, Renewable power generation costs in 2023, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2024.
- [3] Fazal, M. A., Rubaiee, S. Progress of PV cell technology: Feasibility of building materials, cost, performance, and stability, *Solar Energy*, 258, 203-219, 2023.
- [4] Geisz, J. F., Steiner, M. A., Jain, N., Schulte, K. L., France, R. M., McMahon, W. E., Friedman, D. J. Building a six-junction inverted metamorphic concentrator solar cell, *IEEE Journal of Photovoltaics*, 8(2), 626-632, 2017.
- [5] Munanga, P., Chinguwa, S., Nyemba, W. R., Mbohwa, C. Design for manufacture and assembly of an intelligent single axis solar tracking system, *Procedia CIRP*, 91, 571-576, 2020.
- [6] Ponniran, A., Hashim, A., & Munir, H. A. A design of single axis sun tracking system, *5th International Power Engineering and Optimization Conference* (pp. 107-110), IEEE, 2011.
- [7] Ghassoul, M. Single axis automatic tracking system based on PILOT scheme to control the solar panel to optimize solar energy extraction. *Energy Reports*, 4, 520-527, 2018.
- [8] Ray, S., Tripathi, A. K. Design and development of tilted single axis and azimuth-altitude dual axis solar tracking systems, *IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)* (pp. 1-6). IEEE, 2016.

REAL-TIME IMAGING WITH A CUSTOM-BUILT INVERSE SYNTHETIC APERTURE RADAR SYSTEM

Serdar AKCIL

Sakarya University/Department of Electrical and Electronics Engineering,
serdar.akcil@ogr.sakarya.edu.tr - ORCID ID: 0009-0001-8482-5266

Prof. Dr. Askin DEMIRKOL

Sakarya University/Department of Electrical and Electronics Engineering,
askind@sakarya.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-3002-1585

Assist. Prof. Dr. Ridvan Firat CINAR

Batman University/Department of Computer Engineering,
ridvanfirat.cinar@batman.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-0904-2165

ABSTRACT

This study presents a real-time ISAR (Inverse Synthetic Aperture Radar) application with detailed technical insights. The research includes ISAR background, mathematical formulation, implementation, results, and technical evaluations. A hardware setup was designed, including a custom-built target. Real-time imaging of the target's position was achieved using MATLAB. The developed system provides high-resolution image of target scene and shows the reliability of the ISAR principles. Experimental results show the success and precision of the proposed approach. This work contributes to real-time radar imaging techniques, offering a practical implementation for future studies.

Keywords : Communications-Electronics, Inverse Synthetic Aperture Radar, Radar Imaging, Signal Processing.

INTRODUCTION

Radar (Radio Detection and Ranging) is a system that determines the location, speed, direction or other characteristics of an object using electromagnetic waves. The radar sends radio waves to the target and collects information by detecting the waves reflected from the target. This technology is used for the detection and tracking of aircraft, ships, cars, and even atmospheric phenomena. Modern radar systems are used in many fields such as defense, aviation, meteorology, traffic control and astronomy [1-2].

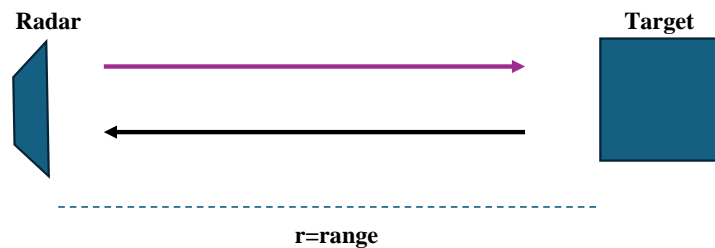


Figure 1: Schematic representation of a radar

Radar is a system that detects the position, speed, and direction of objects using electromagnetic waves. Historically, its foundations took place with the discovery of the reflection of electromagnetic waves by Heinrich Hertz at the end of the 19th century, and the first prototype was developed in the 20th century with Christian Hülsmeyer's "Telemobiloscope" device. During World War II, radar technology made a great leap, and after the war, it found wide applications with innovations such as microwave radars and Doppler radars [1-2].

This study considers a real-time application of the Reverse Synthetic Aperture Radar (ISAR) system to obtain high-resolution radar images of moving targets. Real-time imaging was provided with the theoretical background, mathematical model and a MATLAB-based system of the ISAR technique. The study demonstrates the effectiveness of the method by presenting high-fidelity, albeit low-resolution, images. In addition, hardware and algorithms are detailed, the results are evaluated and suggestions for resolution enhancement are presented [3-11].

INVERSE SYNTHETIC APERTURE RADAR IMAGING TECHNIC

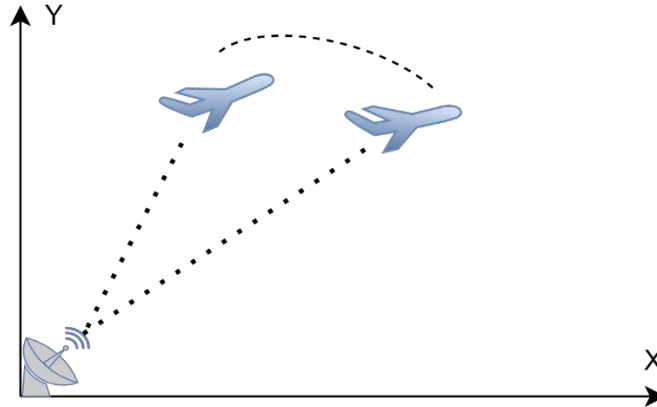


Figure2. ISAR scenario

The first step of ISAR imaging is to generate the electric field dataset using the signal reflected from the target after sending the radar signal to the target. The 2D electric field scattering dataset, where Φ_M is the radar's viewpoint from M different points on the target, is as follows:

$$E^s \cong A_0 \exp(-2jk\vec{r}_0) \quad (1)$$

$$\vec{k} = k \cdot \hat{k} \quad (2)$$

$$= k \cdot (\hat{x} \cdot \cos(\phi) + \hat{y} \cdot \sin(\phi)) \quad (3)$$

$$\vec{k} \cdot \vec{r}_0 = k \cdot (\hat{x} \cdot \cos(\phi) + \hat{y} \cdot \sin(\phi))(x_0 \cdot \hat{x} + y_0 \cdot \hat{y}) \quad (4)$$

$$= k \cdot (x_0 \cdot \cos(\phi) + y_0 \cdot \sin(\phi)) \quad (5)$$

$$= k_x \cdot x_0 + k_y \cdot y_0 \quad (6)$$

If equation number 6 is written in 1;

$$E^s \cong A_0 \exp(-2jkx_0 \cdot \cos(\phi)) \cdot \exp(-2jky_0 \cdot \sin(\phi)) \quad (7)$$

Here;

$$\cos(\phi) \cong 1 \quad (8)$$

$$\sin(\phi) \cong \phi \quad (9)$$

equality is written.

The A_0 value in these equations is the reflection coefficient of the point with (x_0, y_0) coordinate values reflected from the target.

In equation 7, k is the wave number vector,

$$k \cong k_c = \frac{2\pi f_c}{c} \quad (10)$$

f_c and c (speed of light) are the center frequency and speed of the EM signal, respectively. If equation 7 is rearranged,

$$E^s(k, \phi) \cong A_0 \cdot \exp\left(-j2\pi\left(\frac{f}{c}\right)x_0\right) \cdot \exp\left(-j2\pi\left(\frac{2k_c\phi}{c}\right)y_0\right) \quad (11)$$

$$E^s(k, \phi) \cong A_0 \cdot \exp(-j2\pi\alpha x_0) \cdot \exp(-j2\pi\gamma y_0) \quad (12)$$

The result is reached. With this equation, the electric field data set of the point (x_0, y_0) is achieved.

Consequently, the scattered electric field from the target can be expressed as the sum of the contributions from each i -th point, as follows:

$$E_s(k, \phi) \cong \sum_{i=1}^K A_i \exp(-2jk\vec{r}_i) \quad (13)$$

$$\vec{r}_i = x_i \cdot \hat{x} + y_i \cdot \hat{y} \quad (14)$$

The equation 14 is the range of the scattering point i .

Now, the critical point of ISAR imaging is to get the electric field data set. If 2D IFT is applied to equation 12, the ISAR image of the target is found:

$$F_{\alpha, \gamma}^{-1}\{E^s(k, \phi)\} \cong A_0 \cdot F_{\alpha}^{-1}\{\exp(-j2\pi\alpha x_0)\} \cdot F_{\gamma}^{-1}\{\exp(-j2\pi\gamma y_0)\} \quad (15)$$

$$= A_0 \cdot \left(\int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-j2\pi\alpha x_0) \cdot \exp(j2\pi\alpha x) d\alpha \right) \cdot \left(\int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-j2\pi\gamma y_0) \cdot \exp(j2\pi\gamma y) d\gamma \right) \quad (16)$$

$$= A_0 \cdot \delta(x - x_0, y - y_0) \quad (17)$$

$$= ISAR(x, y) \quad (18)$$

Here δ is the Dirac function [3, 4, 11].

EXPERIMENTAL STUDIES
Imaging Algorithm

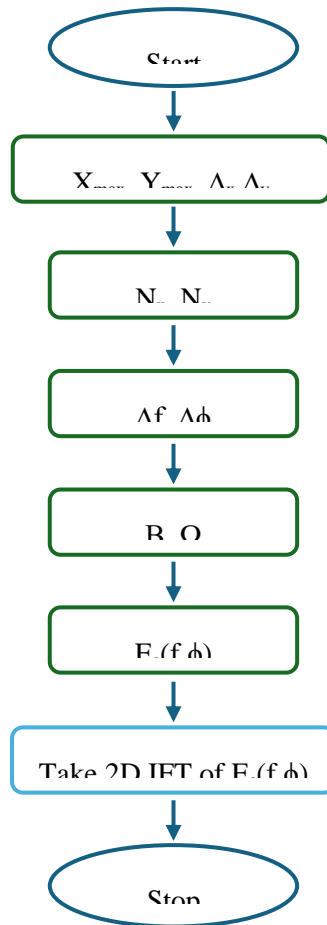


Figure 3. Flowchart of the ISAR algorithm

Flowchart given in figure 3. represents the computational steps in an ISAR imaging process, including the definition of spatial and frequency parameters, data synthesis, and the application of a 2D inverse Fourier transform to generate the image of the target scene.

The HB100 Microwave Doppler Radar module was used to generate the ISAR image of the real target, which will be presented in later chapters. However, since this module does not directly calculate the range, the electric field data set given by equation 13 cannot be created. In this case:

$$r = c \frac{\tau}{2} \tag{19}$$

where r , c and $\tau/2$ are respectively the range speed of light and half the time difference between the transmitted signal and the signal returned to the radar.

It is necessary to determine the ISAR image size by selecting the range (X_{max}) and cross-range (Y_{max}) window extensions. This size should cover the real size of the target. It should be noted that the size of the target may vary depending on the radar's viewing angle. Also, the range and cross-range resolutions (Δ_x and Δ_y) are of critical importance, because these resolutions determine the number of pixels on the target and directly affect the image quality. After determining the resolutions, the sampling points on the range and cross-range axes (N_x and N_y) are calculated:

$$N_x = X_{max} / \Delta x \quad (20)$$

$$N_y = Y_{max} / \Delta y \quad (21)$$

Once the ISAR size is determined, the frequency (Δf) and angular ($\Delta\phi$) resolutions are calculated using Fourier relationships:

$$\Delta f = B / N_x = c / (2 \cdot X_{max}) \quad (22)$$

$$\Delta\phi = \Omega / N_y = \lambda c / (2 \cdot Y_{max}) \quad (23)$$

Accordingly, the frequency bandwidth (B) and angular width (Ω) are calculated as:

$$B = N_x \cdot \Delta f = N_x \cdot c / (2 \cdot X_{max}) \quad (24)$$

$$\Omega = N_y \cdot \Delta\phi = N_y \cdot \lambda c / (2 \cdot Y_{max}) \quad (25)$$

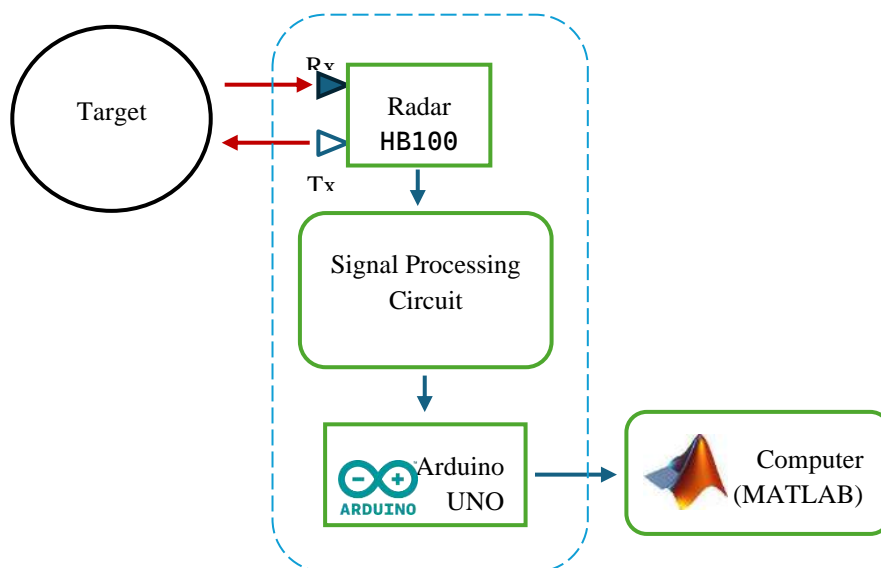


Figure 4. System block diagram

The back-reflected electric field must be summed so that the frequencies are centered around f_c and the radar viewing angles around ϕ_c [4]. The system block diagram that performs this procedure is given in figure 4:

Experimental Setup

In this study, HB100 Microwave Doppler radar module is used. HB100 Microwave Sensor Module is an X-Band Bi-Static Doppler transceiver module used for motion detection applications. However, since the transceiver antennas are quite close to each other, it can be assumed to be monostatic. It includes an internal Dielectric Resonator Oscillator (DRO) and Microstrip patch antenna array. Thanks to these specifications, it is an ideal choice for motion detection equipment. For all specifications, you can review table 1.

Table 1. Technical Specifications

Specification	Value
Frequency	10.525 GHz
Operating Voltage	4.75 V - 5.25 V DC
Current Consumption	30 - 40 mA
Radiation Power (EIRP)	12 - 20 dBm
Antenna Beam Width (for Azimuth)	80°
Antenna Beam Width (for Elevation)	40°
Range Error Rate	200 $\mu\text{V}_{\text{p-p}}$ received signal strength, measured based on a total two-way path loss of 93 dB
Operating Temperature	-15°C - 55°C
Noise Level	5 μV_{rms} (Measured between 10 Hz and 100 Hz)
Output Sensitivity	It is resistant to electromagnetic interference and provides precise detection.

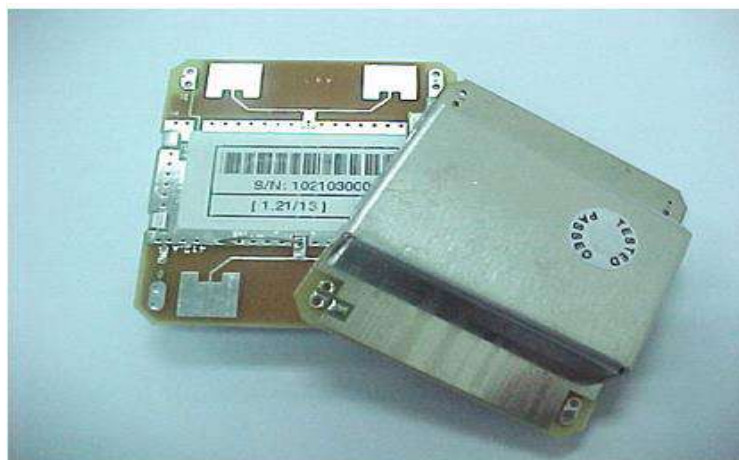


Figure 5. HB100 Microwave Doppler Radar Module

This product is distinguished by its low current consumption, the option of operation in continuous wave (CW) or pulse mode, flat and compact design. Thanks to its long sensing distance and high sensitivity in motion detection, it provides a great advantage in usage areas. It also requires minimal connections for easy integration, making the installation and usage processes quite simple.

When we look at its application areas, it plays an active role in security systems by reducing the false alarm rate, especially when used with microwave-PIR sensors. It provides door control by detecting motion in automatic door opening systems, allows accurate results to be obtained by using the Doppler effect in vehicle speed measurement, and automatically activates lighting systems by detecting environmental movements in lighting control. These features allow the product to offer a wide range of uses in various fields.

The schematic representation of the module is as follows.

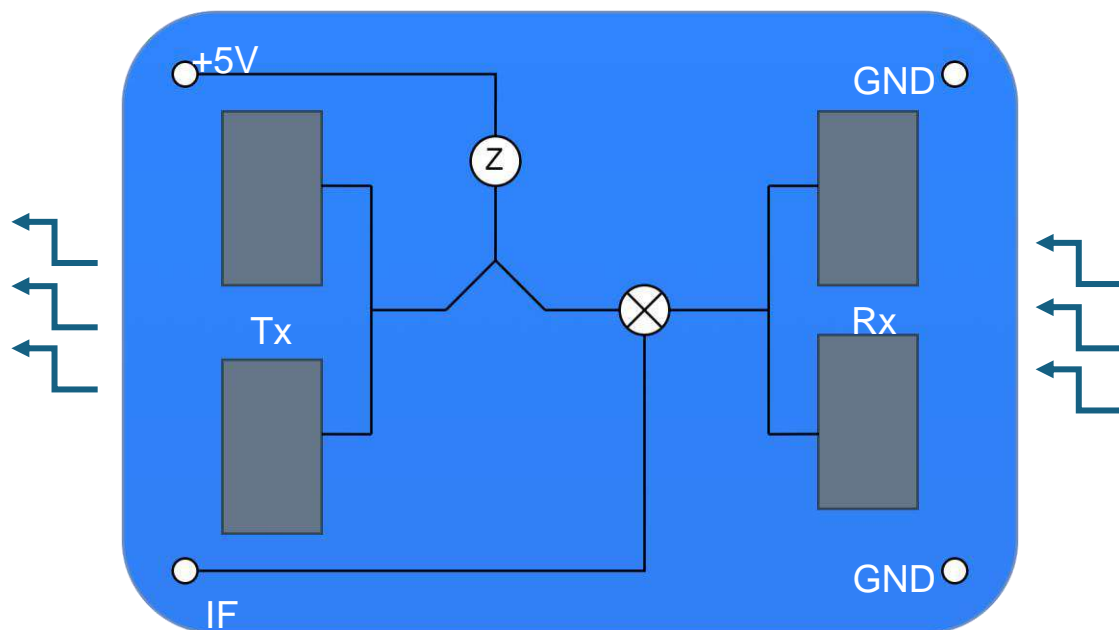


Figure 6. HB100 Microwave Doppler Radar Module Schematic [12]

As shown in the figure, the module has four pins: these pins include a power supply (+5V) pin where a +5V input voltage can be applied, an IF pin where the calculation results (target speed, range) can be obtained, and two ground pins labeled as GND. Additionally, the component marked with "Z" inside the circle is the Dielectric Resonator Oscillator (DRO). DRO is a type of high-precision oscillator used in microwave and RF (Radio Frequency) applications. DROs generate stable signals at a specific frequency with the help of a dielectric resonator. The HB100 sensor module uses a DRO operating at a fixed frequency of 10.525 GHz.

Meanwhile, the structure marked with "X" inside the circle is the mixer. In the HB100 Microwave Sensor Module, the mixer combines the local oscillator signal (the 10.525 GHz

signal generated by the DRO) with the reflected radar signal to produce an intermediate frequency (IF) signal. This IF signal is processed based on data such as target movement or speed information. The mixer is a critical component for detecting the Doppler effect in the module and is essential for speed and motion detection.

The general view of the experimental setup used in the ISAR imaging application is as follows:



Figure 7. Experimental setup

In the figure, the circuit on the breadboard is the signal processing circuit. This circuit transmits the target information from the radar to the Arduino UNO after amplifying it with the op-amp. After the range calculation is made in Arduino, the information created in real time with serial communication is transferred to MATLAB. In MATLAB, on the other hand, the ISAR image of the target is obtained by passing it through the ISAR algorithm.

When creating the signal processing circuit, the circuit diagram that operates the radar module in pulse mode was followed. So, the schematic of the signal processing circuit is as follows:

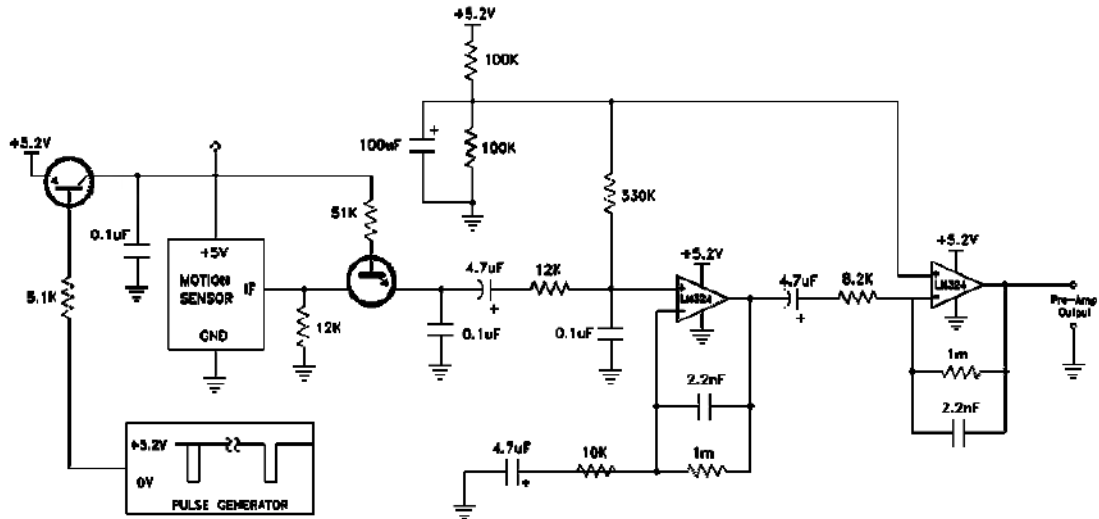


Figure 9. Signal processing circuit schematic [12].

This circuit is designed to process and amplify weak signals received from a motion sensor to produce a usable output. The low-amplitude signal from the sensor is amplified using a transistor-based preamplifier and an LM324 operational amplifier. Passive components in the circuit (resistors and capacitors) serve as filters to eliminate unwanted noise components from the signal. The filtered and amplified signal is provided as a clean and stable output at the "Pre-Amp Output" terminal. This circuit can be used in motion detection systems for high-accuracy signal processing and tracking applications.

The model target made of an aluminum plate used in this application is shown below:



Figure 10. Target.

RESULTS

As a result, r_i in equation 13 is calculated for each value and the ISAR image of the target is obtained as in figure 11.

The red dot in the ISAR image indicates the exact location of the target. The target was detected at approximately 0.5 meters on the range axis and 0 meters on the cross-range axis. The ISAR technique uses Doppler frequency shifts to create high-resolution two-dimensional images depending on the movement of the target. In this technique, the reflection data from moving targets are processed to determine the range and cross-range coordinates with precision. In this study, the red dot indicates that the target was successfully detected on the ISAR image, and the signal processing algorithm used was accurate. The system effectively determined the target's location.

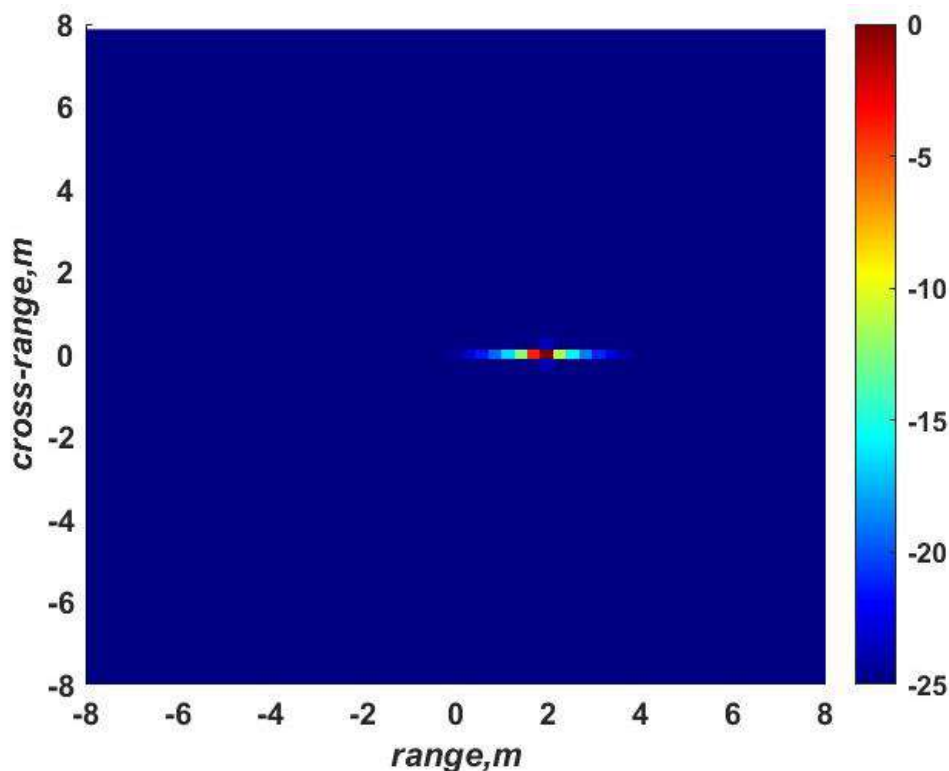


Figure 11. ISAR image of the target

REVIEW AND DISCUSSION

In this study, it has been shown that the target can be successfully imaged using ISAR (Inverse Synthetic Aperture Radar) algorithms. A MATLAB-based ISAR algorithm has been implemented in real time on a simple and economical hardware such as the HB100 Microwave Doppler radar module, and by sampling the electric field data sets of the targets, sensitive and high-accuracy radar images have been obtained, albeit at low resolution. The obtained results

are largely consistent with theoretical models and contribute to real-time applications in the field of radar imaging. It is anticipated that the resolution and sensitivity characteristics of this study can be exceeded by using more advanced hardware and more complex target environments in the future.

REFERENCES

- [1]. M. I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [2]. M. I. Skolnik, Ed., *Radar Handbook*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1990.
- [3]. V. C. Chen, *Time-Frequency Transforms for Radar Imaging and Signal Analysis*. Norwood, MA: Artech House, 2002.
- [4]. C. Özdemir, *Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging with MATLAB Algorithms*. Hoboken, NJ: Wiley, 2012.
- [5]. D. Brandwood, *Fourier Transforms in Radar and Signal Processing*. Boston, MA: Artech House, 2003.
- [6]. M. Soumekh, *Synthetic Aperture Radar Signal Processing with MATLAB Algorithms*. New York: Wiley-Interscience, 1999.
- [7]. B.-C. Wang, *Digital Signal Processing Techniques and Applications in Radar Image Processing*. Hoboken, NJ: Wiley, 2008.
- [8]. M. A. Richards, *Fundamentals of Radar Signal Processing*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2014.
- [9]. K. S. Chen, *Radar Scattering and Imaging of Rough Surfaces: Modeling and Applications with MATLAB*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2015.
- [10]. R. F. Çınar, A. Demirkol, and Z. Demir, "An ambiguity function aided target density function for radar imaging," *Optoelectronics and Advanced Materials – Rapid Communications*, vol. 9, no. 7-8, pp. 850–853, 2015. [Online]. Available: <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12619/64744>
- [11]. Z. Peng, J. L. Volakis, J. Wang, and Y. Yao, "24-GHz biomedical radar on flexible substrate for ISAR imaging," in *Proc. 2016 IEEE MTT-S Int. Wireless Symp. (IWS)*, Shanghai, China, 2016, pp. 1–4. doi: 10.1109/IEEE-IWS.2016.7585445.
- [12]. Agilsense, "HB100 Microwave Sensor Module," Datasheet, ver. 1.02, Agilsense, Singapore, 2000. [Online]. Available: www.agilsense.com. [Accessed: Dec. 28, 2024].

KESTİRİMCİ BAKIM İLE ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI

İlyas Güvenç PİRGE

Manisa Celal Bayar Üniversitesi/Kervan Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş.
guvencpirge@gmail.com - 0009-0008-3978-1883

İlhan BAŞTÜRK

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
ilhan.basturk@cbu.edu.tr - 0000-0003-1869-6010

ÖZET

Endüstriyel tesislerde üretim sürekliliği, rekabette öne çıkmak için kritik bir öneme sahiptir. Üretim hatlarında gerçekleşen herhangi bir arıza, uzun duruşlara neden olup üretim verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Kestirimci bakım, makine öğrenmesi algoritmalarıyla ekipman arızalarını önceden tahmin ederek gerekli müdahalelerin yapılmasına ortam hazırlayan planlı bakımlara olanak tanır. Bu çalışmada, bir gıda üretim tesisindeki nişasta transfer sisteminde titreşim, nem ve sıcaklık gibi parametreler kullanılarak makine öğrenmesi modelleri geliştirilmiştir. KNN, Naive Bayes, Random Forest ve XGBoost gibi algoritmaların performansları karşılaştırılmış ve XGBoost algoritmasının arıza tahmininde daha başarılı bir performans gösterdiği görülmüştür. Bu sonuç, kestirimci bakıma dayalı bir yaklaşımın oluşabilecek anomali durumlarını önceden tespit etmesi açısından üretim verimliliğini arttırabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Makine Öğrenmesi, Denetimli Öğrenme, Kestirimci Bakım, KNN, Naive Bayes, Random Forest, XGBoost

ENHANCING PRODUCTION EFFICIENCY WITH PREDICTIVE MAINTENANCE

ABSTRACT

Production continuity in industrial facilities is critical for gaining a competitive edge. Any malfunction occurring on production lines can lead to long downtimes, negatively impacting production efficiency. Predictive maintenance allows for planned maintenance by using machine learning algorithms to predict equipment failures in advance. In this study, machine learning models were developed using parameters such as vibration, humidity and temperature in the starch transfer system of a food production facility. The performance of algorithms like KNN, Naive Bayes, Random Forest and XGBoost was compared and it was found that XGBoost algorithm exhibited superior performance in fault prediction. This result indicates that a predictive maintenance-based approach can enhance production efficiency by detecting potential anomalies in advance.

Keywords: Machine Learning, Supervised Learning, Predictive Maintenance, KNN, Naive Bayes, Random Forest, XGBoost

1. GİRİŞ

Ülkemizde endüstri sektöründe, işletmelerin rekabetçi olabilmeleri için üretim süreçlerinde verimliliklerini arttırmaları büyük önem taşımaktadır. Verimlilik, kısıtlı ve aynı kaynaklar ile daha fazla çıktı elde etme yetisidir. Verimliliğini arttırmak isteyen işletmeler, teknoloji alanındaki faaliyetleri takip ederek hem üretim verimliliğini artırmak hem de bu süreç içerisinde oluşan maliyetlerini minimize etmek durumunda kalmışlardır. Bu değerlendirme, işletmeleri üretim hatlarının bakımlarını etkin ve verimli bir şekilde uygulayabilecekleri bir program oluşturmalarını önceliklendirmiştir. Aksi durum söz konusu olduğunda, bakımların sürdürülebilir yapılmadığı tesislerde arıza kaynaklı duruşlar artacak ve buna bağlı olarak işçilik, malzeme, enerji ve zaman açısından büyük kayıplar yaşanacaktır. Bu sonuçlar kapsamlı olarak ele alındığında seri üretimin olduğu tüm işletmelerde etkin ve programlı bakımların yapılması önem arz etmektedir.

Bakım uygulamaları literatürde genel olarak iki başlık altında incelenmektedir. Bunlar düzeltici ve önleyici bakım olarak ifade edilmektedir [1]. Düzeltici bakım, bir ekipmanı veya sistemi

çalışır duruma getirmek amacıyla yapılan çalışmaların bütünüdür. Bu tip bakımlar anlık olarak gerçekleştirilir ve genellikle arızayı gidermek için yapılmaktadır. Arıza meydana geldikçe yapılan bir bakım olduğu için dezavantajları söz konusudur. Sürekli duruşlara sebep olması ve yedek parça tüketimine bağlı olarak artan maliyetler bunlara örnek gösterilebilir. Önleyici bakım, bir ekipman veya sistemin arıza göstermeden önce düzenli olarak yapıldığı bakımdır. Bu bakımlar, işletmelerin yıllık çalışma takvimi göz önünde bulundurularak uygulanmaktadır. Planlı ve periyodik bir bakım türü olduğu için, kontrol ve bakım noktaları önceden belirlenebilir ve bu sayede olası bir yedek parça kullanımı olduğunda bakım öncesi hazırlığı yapılabilmektedir. Önleyici bakım yaklaşımları içerisinde ele alınan ve teknolojinin gelişmesi ile seri üretim hatlarında önemli bir yere sahip olan konu ise kestirimci bakımdır. Kestirimci bakım, ekipman bozulmasının veya yaklaşan arızaların erken belirtilerini tespit etmek için gerçek zamanlı verilerin toplanmasını ve bu verilerin analiz edilmesini kapsayan çalışmalardır [2]. Sistemlerden alınan durum verilerine dayanarak ekipmanların öngörülen kullanışlı ömrünü planlayıp bozulma veya yıpranma riskini minimize ederek sistemin hizmet süresinin en üst seviyeye çıkarılmasını hedefler [3]. Bu yönleriyle kestirimci bakımın özellikle iki noktada endüstriyel tesislere olumlu yönde etkisi olmaktadır. Bunlardan birisi arıza meydana gelmeden önce uyarı vermesi ve arıza oluşmadan anomaliyi tahmin edebilmesi, ikincisi ise ekipmanların faydalı ömürlerinin uzaması için en uygun bakım zamanlarının belirlenmesidir [4].

Kestirimci bakım, herhangi bir ekipmana ait verilerin sürekli takip edilmesi ve analizi ile gerçekleşir. Bu analiz çalışmasında sensörler, ölçü cihazları ya da online veri takip sistemleri işletmelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan analiz çalışmaları ile ilgili ekipmanın kalan faydalı ömrü (Remaining Useful Life-RUL) veya üretim tesislerinin çalışma performansları tahmin edilebilmektedir. Bu tahmin etme çalışmalarında makine öğrenmesi (ML) algoritmaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Makine öğrenmesine dayalı kestirimci bakım modelleri işletmelerde ekipman, işçilik, zaman ve enerji gibi kayıpların maliyetlerini minimize edecek kritik bir öneme sahip olmuştur. Özellikle son dönemde hem literatürde hem de endüstriyel işletmelerde kestirimci bakım büyük önem kazanmış ve farklı sektörlerle yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Yusuf Kalemoğlu, bir demir çelik tesisindeki tezgâhın elektrik motorlarından sıcaklık ve titreşim verilerini ölçerek kestirimci bakım uygulaması yapmıştır [5]. Oğuz Bektaş, yaptığı çalışmada döner mekanizma sistemlerinin bozulma aşamalarını Welch yöntemi ve Fourier dönüşümleri aracılığıyla analiz etmiştir. Bu çalışması ile döner mekanizmaların arıza ya da aşınma seviyesini etkin bir şekilde tahmin edebilmiştir [6]. Erkan Sındır, bir asenkron motorun stator sıcaklığı, stator sargı sıcaklığı, titreşim ve rulman yatak

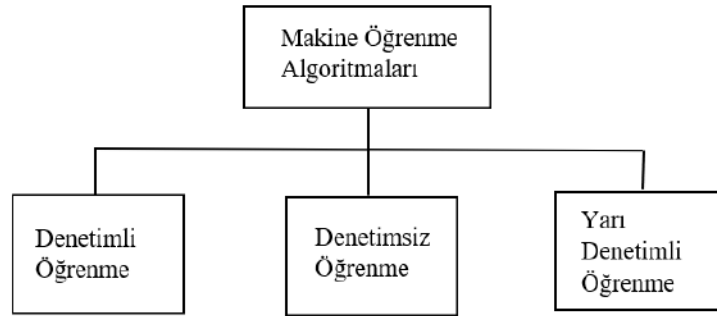
sıcaklığı verilerini PLC aracılığıyla toplamıştır. Elde ettiği bu verileri Matlab uygulamasında analiz ederek bulanık mantık temelli bir sistem tasarlamıştır [7]. Şükrü Görgülü, Peron Ayırıcı Kapı Sistemi (PAKS), makine öğrenmesi temelli sınıflandırma algoritmalarından olan SVM, KNN ve LR modelleri ile mekanik arızaların teşhisini yapmıştır. Bu teşhis esnasında, PAKS sisteminin akım, gerilim, titreşim, ses, kapı pozisyonu ve kapı hızı gibi parametreleri kullanmıştır [8].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi, herhangi bir problemi o probleme ait data'lara göre modelleyen algoritmaların genel adıdır [9]. Bir yapay zekâ dalı olarak tanımlanan makine öğrenmesi, bir sistemin herhangi bir program veya yazılım olmaksızın deneyim ve verilerden otonom olarak gelişmesini ifade etmektedir. Yapay zekâ kapsamında makine öğrenimi, birçok alanda akıllı tahmin algoritmaları geliştirmek ve farklı alanlarda ortaya çıkan problemlerin kapsamlı analiz edilmesi için ortaya çıkmıştır. Makine öğrenmesi (ML) yaklaşımları, yüksek boyutlu verileri işleme ve karmaşık ortamlarda veriler arasındaki korelasyonu ortaya çıkarma yetisine sahiptir [10]. Bu yönleriyle ML, birçok sektörde kestirimci bakım uygulamaları için etkin ve verimli bir yaklaşım ortaya koymaktadır.

Makine öğrenmesi, literatür çalışmalarında genel olarak denetimli, denetimsiz ve yarı denetimli olmak üzere üç ana başlık altında incelenmektedir [11].



Görsel 1. Makine Öğrenme Yöntemleri

2.1.1. Makine Öğrenmesi Adımları

Makine öğrenmesi yöntemi ile yapılan çalışmalarda veri kümesi önemli bir yere sahiptir. Veri sayısının artması verilerin işleme ve analiz sürecini zorlaştırmaktadır. Büyük verilere sahip makine öğrenmesi algoritmalarında analiz süreci birçok aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Problem Tanımlama: Makine öğrenmesi çalışmasında ele alınacak olgunun öncelikle saptanması gereklidir. Sistemin öngörü yapacağı ve hangi verileri analiz ederek tahminleme geliştireceği problem, tespit edilmelidir.

Veri Toplama: Problemlerle ilgili toplanan veriler excel (xls) ya da virgüllerle ayrılmış düz metin dosyaları (csv) formatında olabilir. Bu aşama, problemle ilgili makine öğrenmesi yöntemlerinin en doğru skoru vermesi adına oldukça önemlidir. Çünkü hazırlanacak veri tabanının ne kadar fazla, çeşitli ve anlaşılır olması algoritmanın öğrenme skorunu bir o kadar doğruluk payına yaklaştıracaktır.

Verilerin Hazırlanması: Makine öğrenmesi algoritmalarında kullanılacak veri kümesini oluşturan verilerin tutarlı ve anlamlı olması gereklidir. Veri tabanında anlamsız kalan veriler çıkarılmalıdır. Bu işlemlerden sonra elde kalan yorumlanabilir ve ölçülebilir verilerin algoritma akışında belirli bir yüzdesi (%70-%80 gibi) öğrenme/egitim adımında ve geri kalan kısmı (%20-%30 gibi) test yani değerlendirme adımında kullanılmalıdır.

Modelin Belirlenmesi: En uygun analiz yöntemi olan algoritmanın seçildiği adımdır. Makine öğrenmesi sürecinde bazı modeller sayısal verilerin analizinde bazıları ise metinsel verilerin analizinde kullanılır [12]. Hazırlanan veri kümesine en uygun model seçimi yapılmalıdır.

Eğitim: Problemlerle ilgili toplanan verilerin seçilen uygun model ile eğitildiği adımdır. Bu aşamada ayrılan eğitim verileri ile model eğitildikten sonra test verileri ile doğrulama işlemi yapılır. Modelin problemle ilgili tahmin yeteneği, eğitim aşamasına bağlı olduğu için makine öğrenme aşamasının en kritik adımıdır.

Değerlendirme: Seçilen model eğitildikten sonra, veri kümesinin %20-%30 gibi bir oranına karşılık gelen test verileri kullanılarak modelin verdiği tepkilerin ölçüldüğü aşamadır. Çıkan sonuca göre model ya tekrar eğitim aşamasına dönecek ya da bir sonraki aşamaya geçiş yapacaktır.

Parametre Ayarlama: Elde edilen çıktıların analizi işleminden sonra sonuçların daha anlamlı ve güvenilir bir hale getirilip getirilemeyeceğinin kontrolü gereklidir. Bu kontrol, modelin parametrelerinde değişiklikler yapılarak çıkan sonuçların farklılaştırılması ve kendi aralarında karşılaştırılması ile elde edilir. Modele yeniden eğitim uygulanarak daha hassas ve gerçeğe yakın tahminler yapması hedeflenir.

Tahmin: Bu aşamada seçilen model, ele alınan problemle ilgili tahminlerde bulunmaktadır. Bu tahminlerle modelin performans metrikleri (doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1 skoru) analiz edilmektedir.

2.1.2. Denetimli Makine Öğrenmesi

Bu çalışmada denetimli makine öğrenmesi ile çalışma yapılacağı için bu kapsamdaki yöntemler üzerinde durulacaktır. Denetimli öğrenmede model, daha önce tanımlanmış yani etiketlenmiş verilerle eğitilir. Bir grup girdi değerine karşılık onlara ait hedef değerleri verilerek aralarındaki korelasyonu öğrenmesi ve hedef değerlere en yakın çıktılarının üretilmesi amaçlanır [9]. Bu tip öğrenme yöntemlerinde gerçeğe yakın tahminleme yapılabilmesi için regresyon ve sınıflandırma teknikleri kullanılmaktadır. Regresyon, sürekli kendini tekrar eden değerleri (sıcaklık, yaş, nem gibi) tahmin etmek için kullanılırken; sınıflandırma birbirinden bağımsız farklı değişkenleri tahmin etmek için kullanılmaktadır.

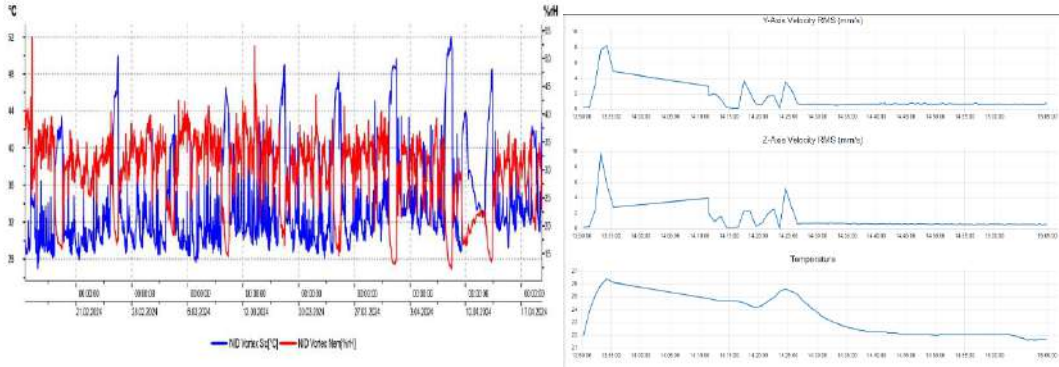
2.2. Araç ve Yöntemler

Bu çalışma, gıda sektöründe yer alan bir işletmenin bir üretim hattına ait nişasta transfer sisteminde yaşanan arızaların analizinde yapılmıştır. Öncelikle, problemin yaşandığı noktada bulunan helezon ünitesinin motor ve redüktör grubuna sıcaklık ve titreşim sensörleri ile ortamın sıcaklık ve nem değerlerini ölçecek datalogger montajı Görsel 2’de görüleceği üzere yapılmıştır.



Görsel 2. Sıcaklık/titreşim ölçer sensörlerin ve datalogger görünümü

Sahaya montajı yapılan sensörlerden belli bir zaman aralığında alınan veriler, Görsel 3’te görüldüğü gibi arayüz programları aracılığıyla dijital ortama transfer edilmiştir.



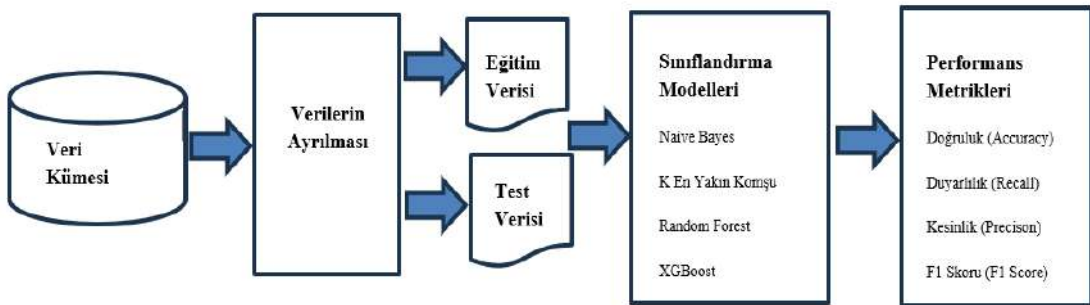
Görsel 3. Ölçülen verilerin arayüz programlarındaki grafikleri

Veri kümesinde yer alan özniteliklerin tanımları Çizelge 1’de yer almaktadır.

Çizelge 1. Sistemdeki girdilerin tanımlamaları

Öznitelik Başlığı	Tanımı
NID Vortex Sic [°C]	Vorteks bölgesi çalışma ortamı sıcaklığı
NID Vortex Nem[%rH]	Vorteks bölgesi çalışma ortamı nemi
MSic	Motor gövde sıcaklığı
MVib	Motor gövde titreşim değeri
RedSic	Redüktör gövde sıcaklığı
RedVib	Redüktör gövde titreşim değeri

Elde edilen bu veriler Python programında bazı algoritmalar kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz çalışması sonucunda kullanılan denetimli öğrenme yöntemlerinin performans skorları karşılaştırılmıştır. Görsel 4’te çalışmanın akış diyagramı yer almaktadır.



Görsel 4. Çalışmanın akış diyagramı

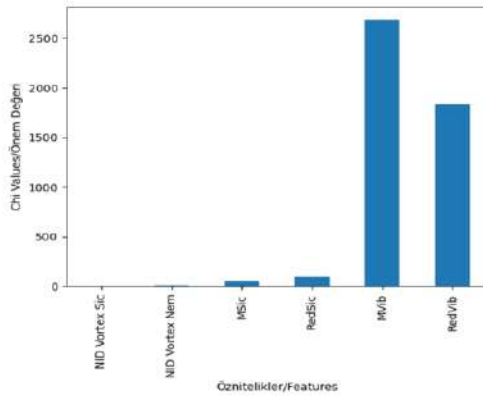
Bu çalışmada altı girdiden oluşan (motor sıcaklık, motor titreşim, redüktör sıcaklık, redüktör titreşim, ortam sıcaklık ve ortam nem) veriler Naive Bayes, k-en yakın komşu, Random Forest ve XGBoost gibi denetimli öğrenme yöntemleri ile analiz edilerek arıza tahmin

performansları karşılaştırılmıştır. Veriler, gerçek zamanlı yaşanan arızaların şiddeti, sonucu ve onarım süreçleri göz önünde bulundurularak dört farklı sınıfta etiketlenmiştir. Bu sınıfların açıklamaları Çizelge 2’de görülmektedir.

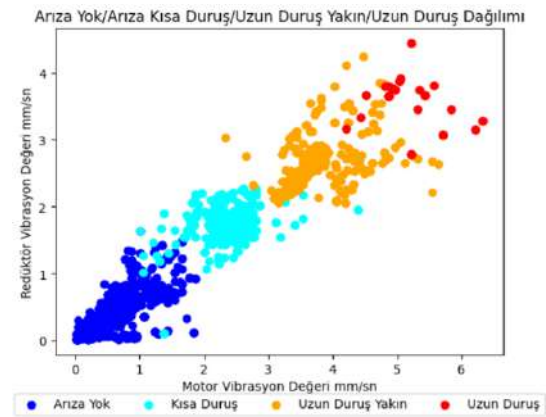
Çizelge 2. Modelde oluşturulan çıktı tanımlamaları

Class 0	Arıza yok. Her şey normal.
Class 1	Kısa duruş var.
Class 2	Uzun duruş yakın.
Class 3	Uzun duruş var.

Veri kümesi ilk aşamada Naive Bayes algoritması ile ele alınmıştır. NB algoritmasında, öncelikle özneliklerin önem derecesi belirlenmiştir. Görsel 5’te görüleceği üzere redüktör titreşim (RedVib) ve motor titreşim (MVib) değerleri tahminleme konusunda ön planda yer almıştır. Görsel 6’da motor titreşim değerlerinin redüktör titreşim değerleri ile değişimine bakılarak verilerin sınıflandırmasında iki titreşim değerinin oldukça etkili olduğu görülmektedir.

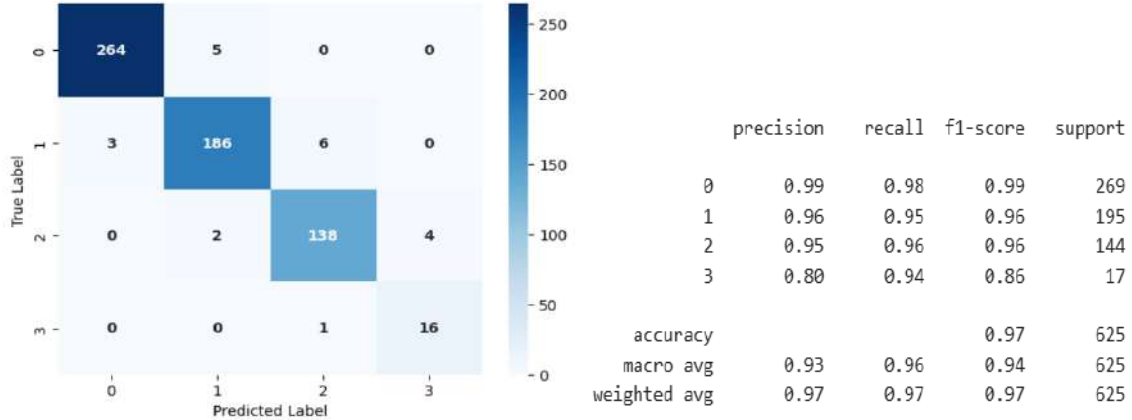


Görsel 5. NB öznelik önem derecesi



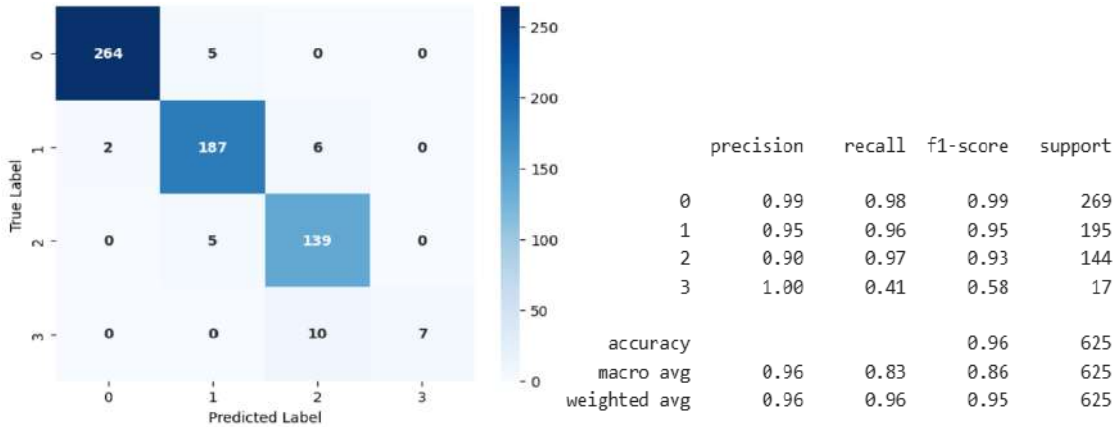
Görsel 6. Motor ve redüktör titreşim dağılımı

Naive Bayes algoritmasının karışıklık matrisi ve performans skorları Görsel 7’de yer almaktadır. Buna göre NB, Class 0-1-2 verilerinin tahmininde başarılı bir performans gösterdiği, Class 3 verilerinin tahmininde ise biraz düşük skorda kaldığı görülmüştür.



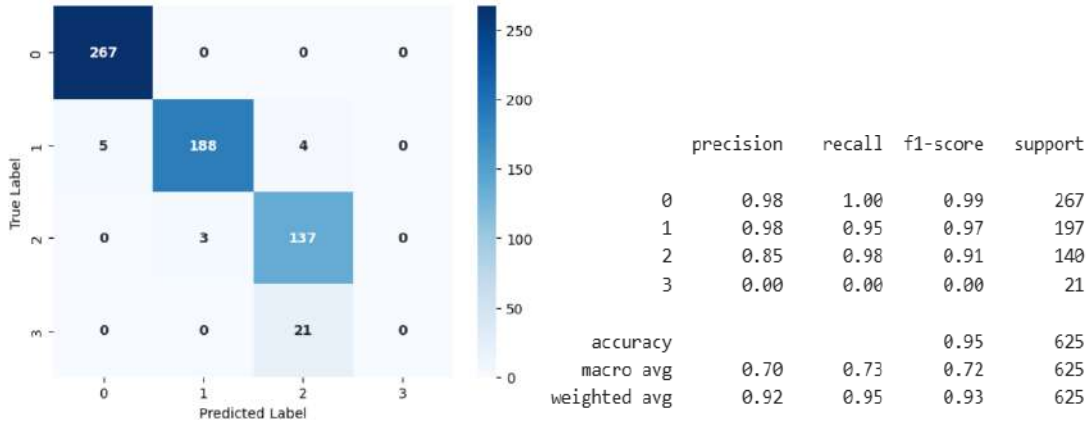
Görsel 7. NB karışıklık matrisi ve performans metrikleri

K-en yakın komşu (kNN) algoritması ile veriler analiz edildiğinde Görsel 8’de görülen karışıklık matrisi ve performans metrikleri elde edilmiştir. Bu tablo incelendiğinde kNN algoritmasının Class 0-1-2 (arıza yok, kısa duruş, uzun duruş yakın) değerlerini tahmin etmede başarılı olduğu ancak uzun duruşları temsil eden Class 3 verilerinin tahmininde düşük performans gösterdiği görülmüştür.



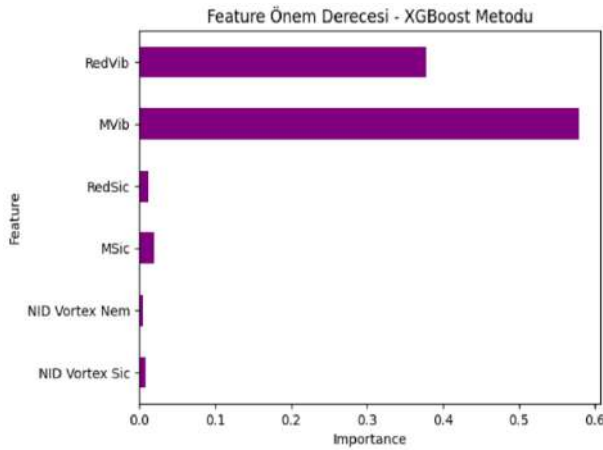
Görsel 8. kNN karışıklık matrisi ve performans metrikleri

Random Forest (RF) algoritmasının karışıklık matrisi ve performans metrikleri Görsel 9’da yer almaktadır. Karışıklık matrisi incelendiğinde RF yöntemi, gerçek zamanlı Class 3 sınıfına ait değerleri Class 2 olarak tahmin etmiştir. Bu yönden bakıldığında uzun duruşa sebep olacak, kritik derecede öneme sahip Class 3 değerlerinin tahmininde başarılı olamamıştır. Diğer sınıfların tahmininde başarılı olduğu görülmüştür.

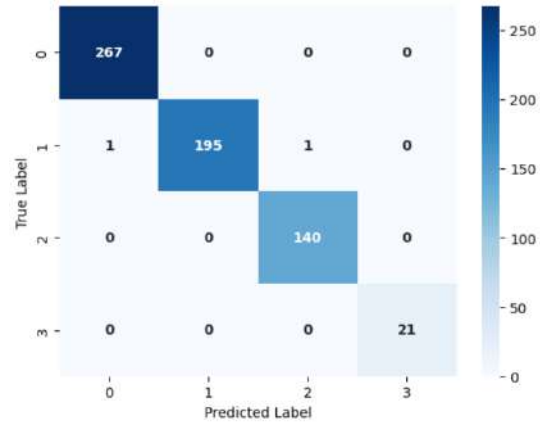


Görsel 9. RF karışıklık matrisi ve performans metrikleri

Son adımda ölçümler sonucu elde edilen veriler, XGBoost algoritması ile analiz edilmiştir. Bu analiz çalışmasında ilk olarak özneliklerin önem derecesi Görsel 10’da görüleceği üzere belirlenmiştir. Grafik incelendiğinde altı adet girdi parametresinin algoritmanın tahmin sürecinde etkisi olduğu görülmektedir.



Görsel 10. XGBoost öznelik önem derecesi



Görsel 11. XGBoost karışıklık matrisi

XGBoost algoritmasının Görsel 11’de yer alan karışıklık matrisi incelendiğinde tüm sınıfların tahmininde oldukça başarılı bir performans gösterdiği görülmektedir. Özellikle, uzun duruşlara neden olan arıza değerlerini ifade eden Class 3 verilerinin tahmininde diğer algoritmalarından daha başarılı bir skor elde etmiştir.

Çizelge 3’te yer alan performans tablosuna bakıldığında XGBoost algoritmasının kullanılan yöntemler arasında en başarılı skoru elde ettiği görülmektedir.

Çizelge 3. Kullanılan algoritmaların performans skorları

Algoritma	Accuracy	Recall	Precision	F1-Score
Naive Bayes	0.97	0.97	0.97	0.97
KNN	0.96	0.96	0.96	0.95
Random Forest	0.95	0.95	0.93	0.94
XGBoost	0.99	0.99	0.99	0.99

İşletmede yaşanan arızalar incelendiğinde özellikle dişli sıyrması ve mil aksamındaki sorunların uzun duruşlara neden olduğu görülmektedir. Bu arızaların gerçekleştiği noktalar Görsel 12’de yer almaktadır. Helezon milinin yüzeyinde zamanla oluşan deformasyon, rulman ile arasında bir boşluk yaratmakta, oluşan bu boşluk da yataklama sistemini bozarak balanssızlığa neden olmaktadır. Benzer bir şekilde herhangi bir nedenden dolayı helezon sisteminin taşıdığı mekanik yükün artışı ve buna bağlı olarak helezonun sıkışması sonucu dişli sıyrmasından kaynaklı arızalar yaşanmıştır.



Görsel 12. Uzun duruşlara (Class 3) neden olan dişli ve mil arıza görselleri

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan arıza analizi çalışmasında XGBoost algoritmasının %99 ile kullanılan yöntemler arasında en başarılı tahmin performansını göstermiştir. Yaşanan uzun duruşların sistem üzerindeki şiddetli sonuçları (mil balanssızlığı, dişli sıyrması vb.) sistemin ürettiği sayısal veriler ile etiketlenmiştir. Sistem, bu verilere yakın değerler ürettiğinde kullanıcının arıza kök sebebini tespit etme ve aksiyon alma sürecini minimize etmiştir. Helezon dişlisinin sıyrması ya da mil ve yataklama arası boşluktan kaynaklı arızaların ön görülmesi ile hem yaklaşık üç saate varan duruşların hem de yaklaşık 7500 kg’lık üretim kaybının önüne geçilmiştir.

Haberleşme altyapısında gerekli ana veri çalışmalarının yapılmasıyla XGBoost algoritmasının elde ettiği tahminlerin MRP programına entegrasyonu sağlanabilir. Bu şekilde herhangi bir büyük arıza meydana gelmeden önce MRP arayüzü aracılığıyla bakım ekibine bilgilendirme yapılabilir. Büyük kapasiteli veri depolama sistemleri üzerinde çalışmalar yapılarak işletmenin birçok noktasından bu kritik veriler sürekli ölçülerek takip edilebilir. Böylece geniş bir izleme ağı kurularak bakım ekibinin işgücü kaybı önlenir ve bakım/onarım süreleri minimize edilebilir.

4. KAYNAKÇA

- [1] Cortadi, A. J., Irigoien, I., Boto, F., Sierra, B., Rodriguez, G., Predictive Maintenance on the Machining Process and Machine Tool. Applied Sciences, 10(1): 224, 2019. <https://doi.org/10.3390/app10010224>
- [2] Yayan, U., Demir, C. ve Taşkın, S., *Rüzgâr Türbinlerinde Kestirimci Bakım Uygulamaları*, 7. İzmir Rüzgâr Sempozyumu, 2023.
- [3] Öztanır, O., *Makine Öğrenmesi Kullanılarak Kestirimci Bakım*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2018.
- [4] Köprü, T., *Kestirimci Bakım Zamanlarının Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Tahminlenmesi: Demir Çelik Sektöründe Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, 2022.
- [5] Kalemoglu, Y., *Haddehanelerde Sıcaklık ve Titreşim Ölçümü ile Kestirimci Bakım Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, 2023.
- [6] Bektaş, O. (2020). Kestirimci Bakım İçin Döner Mekanizma Bozulma Eğrisinin Tanımlanması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (19), 420-428. Doi: 10.31590/ejosat.708257
- [7] Sındır, E., Özkaner, V. (2022). Asenkron Motorlu Sistemde Bulanık Mantık Çıkarımı ile Kestirimci Bakım. International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 6(2), 181-188. Doi: 10.36287/ijmsit.6.2.181
- [8] Görgülü, Ş., Koç, İ., Kırımca, N., Karaköse, M., Özgen, M. T. (2024). Yapay Zekâ Kullanımıyla Peron Ayırıcı Kapı Sisteminin Sağlığını İzleme ve Kestirimci Bakım. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 7(1), 56-70. Doi: 10.51513/jitsa.1311985

- [9] Atalay, M., Çelik, E. (2017). Büyük Veri Analizinde Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi Uygulamaları. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 9(22), 155-172. Doi: 10.20875/makusobed.309727
- [10] Wuest, T., Weimer, D., Irgens, C., Thoben, K. (2016). Machine Learning in Manufacturing: Advantages, Challenges and Applications. Production & Manufacturing Research, 4(1), 23-45. Doi: 10.1080/21693277.2016.1192517
- [11] Şahin, E., *Makine Öğrenme Yöntemleri ve Kelime Kümesi Tekniği ile İstenmeyen E-Posta Sınıflaması*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2018.
- [12] Ramachandran, K. K., Mary, A. A. S., Hawladar, S., Asokk, D., Bhaskar, B., Pitroda, J. R. (2022). Machine Learning and Role of Artificial Intelligence in Optimizing Work Performance and Employee Behavior. Materials Today: Proceedings, 51: 2327-2331. Doi: 10.1016/j.matpr.2021.11.544

YARA İYİLEŞME AŞAMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed DENİZ

Kafkas Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Cerrahi Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı
m.deniz476474@gmail.com- ORCID ID:0000-0001-6129-9526

Doç. Dr. Mustafa MAKAV

Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı
mustafamakav@gmail.com- ORCID ID:0000-0003-1879-8180

ÖZET

Yara iyileşme süreci, hasarlı dokuların bütünlüğünü yeniden sağlamayı amaçlayan ve birbiriyle örtüşen bir dizi aşamayı içeren karmaşık bir fizyolojik yanıttır. Genel olarak bu süreç hemostaz, inflamasyon, proliferasyon ve maturasyon aşaması (olgunlaşma ve iyileşme) olmak üzere dört temel aşamaya ayrılır. İlk yanıt, doku hasarından hemen sonra ortaya çıkan hemostazdır. Bu aşama, kan kaybını önlemek için kan damarlarının daralmasını ve pıhtı oluşumunu içerir. Trombositler yaralanma bölgesinde toplanarak, sonraki enflamatuar yanıt için gerekli olan büyüme faktörlerini ve sitokinleri salgılar. Hemostazı takiben, tipik olarak yaralanma sonrası dakikalar/saatler içinde inflamatuvar faz başlar. Bu aşama, bağışıklık hücrelerinin, özellikle de nötrofil ve makrofajların yara bölgesine toplanmasıyla karakterize edilir. Nötrofiller, fagositoz yoluyla kalıntıları ve patojenleri temizleyen ilk yanıtlayıcılardır, makrofajlar ise enflamatuar yanıtı sürdürerek ve doku onarımını desteklemek için geçiş yaparak ikili bir rol oynar. Proliferasyon aşaması, yara türüne ve bireysel faktörlere bağlı olarak birkaç günden haftalara kadar sürebilir. Bu aşamada fibroblastlar çoğalır ve doku oluşumu için hayati önem taşıyan kolajen ve hücre dışı matris bileşenlerini sentezler. Yeni kan damarlarının oluşumu olan anjiyogenez de bu aşamada meydana gelir ve iyileşen dokuya yeterli oksijen ve besin kaynağı sağlar. Ayrıca epitel hücreleri, yeniden epitelizasyon olarak bilinen bir süreç olan cilt bariyerini yeniden oluşturmak için yara yatağı boyunca göç eder. Son aşama olan maturasyon, ilk yaralanmadan sonra aylarca veya yıllarca sürebilir. Bu aşamada, kolajen lifleri yeniden düzenlenir, çapraz bağlanır ve iyileşmiş dokunun gerilme mukavemetini artırmak için yeniden modellenir. Özetle, her aşama birbirine bağlıdır ve herhangi bir aşamadaki aksaklıklar kronik yaralara veya bozulmuş iyileşmeye yol açabilir. Bu aşamaları anlamak, yara iyileşme sonuçlarını iyileştirmek için etkili tedaviler ve müdahaleler geliştirmek için gereklidir.

Anahtar Kelimeler: Hemostaz, İnflamasyon, Proliferasyon, Maturasyon

WOUND HEALING PHASES

ABSTRACT

The wound healing process is a complex physiological response that involves a series of overlapping stages aimed at restoring the integrity of damaged tissues. In general, this process is divided into four basic stages: hemostasis, inflammation, proliferation and maturation (maturation and healing). The first response is hemostasis, which occurs immediately after tissue damage. This stage involves the constriction of blood vessels and clot formation to prevent blood loss. Platelets aggregate at the site of injury, releasing growth factors and cytokines that are essential for the subsequent inflammatory response. Following hemostasis, the inflammatory phase begins, typically within minutes/hours after injury. This phase is characterized by the recruitment of immune cells, particularly neutrophils and macrophages, to the wound site. Neutrophils are the first responders, clearing debris and pathogens through phagocytosis, while macrophages play a dual role, sustaining the inflammatory response and migrating to support tissue repair. The proliferation phase can last from several days to weeks, depending on the type of wound and individual factors. During this phase, fibroblasts proliferate and synthesize collagen and extracellular matrix components vital for tissue formation. Angiogenesis, the formation of new blood vessels, also occurs during this phase and provides the healing tissue with an adequate supply of oxygen and nutrients. In addition, epithelial cells migrate across the wound bed to rebuild the skin barrier, a process known as re-epithelialization. The final stage, maturation, can last for months or years after the initial injury. During this stage, collagen fibers are rearranged, cross-linked and remodeled to increase the tensile strength of the healed tissue. In summary, each stage is interconnected and disruptions at any stage can lead to chronic wounds or impaired healing. Understanding these stages is essential for developing effective treatments and interventions to improve wound healing outcomes.

Keywords: Hemostasis, Inflammation, Proliferation, Maturation

1.GİRİŞ

Yara iyileşmesi, birbiriyle örtüşen bir dizi aşamada gerçekleşen karmaşık bir biyolojik süreçtir: hemostaz, inflamasyon, proliferasyon ve maturasyon aşaması (olgunlaşma ve iyileşme) (Ling ark., 2020; Amagase ark., 2007; Ma ark., 2016). Bu aşamaların her biri, etkili doku onarımı ve cilt bütünlüğünün restorasyonunun sağlanmasında kritik bir rol oynar. Hemostaz yara iyileşmesinin ilk aşaması yaralanmadan hemen sonra başlar. Hemostaz, vasküler daralma, trombosit agregasyonu ve fibrin pıhtı oluşumu yoluyla kanamanın durdurulmasını içerir (Ling ve ark., 2020). Hemostazı takiben, enflamatuvar faz, nötrofiller ve makrofajlar dahil olmak üzere bağışıklık hücrelerinin yara bölgesine toplanmasıyla karakterize edilir. Bu hücreler enkaz ve patojenleri temizlemek ve böylece enfeksiyonu önlemek için gereklidir (Amagase et al., 2007; Ma et al., 2016). Proliferasyon aşaması granülasyon dokusu oluşumunu, yeniden epitelizasyonu ve anjiyogenezi içerir. Fibroblastlar, yeni dokuya yapısal destek sağlayan kolajen ve hücre dışı matris bileşenlerini sentezleyerek bu aşamada kilit bir rol oynar (Haug ve ark., 2021; Zhang ve ark., 2011). Keratinositler yara yüzeyini kaplamak için göç eder ve proliferasyonları epidermal büyüme faktörü (EGF) ve vasküler endotelial büyüme faktörü (VEGF) gibi büyüme faktörleri tarafından uyarılır (Haug ve ark., 2021; Seo ve ark., 2017). Yara iyileşmesinin son aşaması, yeni oluşan dokunun daha fazla güç ve işlevsellik elde etmek için yeniden şekillendiği olgunlaşma aşamasıdır. Bu aşamada, tip III kolajen kademeli olarak tip I kolajen ile yer değiştirir ve kolajen lifleri daha organize ve çapraz bağlı hale gelerek iyileşmiş dokunun gerilme mukavemetini artırır (Reinertsen ve ark., 2014; Passamaneck ve Martindale, 2012). Proliferasyon aşamasında kurulan damar ağı da rafine edilir ve dokuyu stabilize etmek için gereksiz kan damarları budanır (Ma ve ark., 2016; Zhang ve ark., 2019).

Özetle, yara iyileşmesi, birbirine bağlı birden fazla aşamayı içeren dinamik ve yüksek düzeyde düzenlenmiş bir süreçtir. Her aşama, etkili doku onarımına katkıda bulunan spesifik hücresel aktiviteler ve sinyal yolları ile karakterize edilir (Oberringer ark., 2005; Pazyar ark., 2014; Ramon-Mateu ark., 2019).

2. Yara iyileşmesinde Hemostaz aşaması

Hemostaz, aşırı kan kaybını önlemek ve inflamasyon, proliferasyon ve yeniden şekillenme dahil olmak üzere sonraki iyileşme aşamalarına zemin hazırlamak için gerekli olan yara iyileşme sürecinin ilk ve kritik aşamasıdır (Luo ark., 2022; Teng ark., 2021; Wang ark., 2019; Huang ark., 2020; Dong, 2024). Hemostaz süreci, vasküler daralma, trombosit agregasyonu ve fibrin pıhtı oluşumu gibi yaralanma bölgesinde kanamayı kontrol etmek için toplu olarak çalışan çeşitli mekanizmaları içerir (Kanedi ve ark., 2022; Horng ve ark., 2017). Hemostatik ajanların ve malzemelerin hızlı hemostazı desteklemedeki etkinliği çok önemlidir, çünkü bu aşamadaki gecikmeler enfeksiyon riskinin artması ve iyileşme sürelerinin uzaması gibi komplikasyonlara yol açabilir (Wang, 2024; Li, 2023).

Hemostatik yetenekleri geliştirmek ve yara iyileşmesini kolaylaştırmak için çeşitli biyomalzemeler geliştirilmiştir. Örneğin, jelatin, aljinat ve kitosan gibi doğal polimerlerden oluşan hidrojeller, biyouyumlulukları ve nemli bir iyileşme ortamı oluşturma yetenekleri

nedeniyle hemostazı teşvik etmede umut verici sonuçlar göstermiştir (Huang ve ark., 2020; Li, 2024; Lin, 2024). Bu hidrojeller eksüdayı emebilir ve hemostazdan enflamasyona ve sonraki iyileşme aşamalarına geçiş için hayati önem taşıyan hücre göçü için bir iskele sağlayabilir (Wang ve ark., 2023; Zhao ve ark., 2018). Ayrıca, antimikrobiyal ajanlar ve büyüme faktörleri gibi biyoaktif bileşenlerin bu hidrojellere dahil edilmesi, enfeksiyonu önleyerek ve doku rejenerasyonunu teşvik eder ve yara tedavisindeki etkinliklerini daha da artırabilir (Bai ve ark., 2021; Shakya ve ark., 2019; Zhao ve ark., 2020).

Hemostazdan enflamasyona geçiş, pıhtılaşma süreci sırasında salınan spesifik biyomoleküllerin varlığından da etkilenir. Trombositler, aktivasyon üzerine, bağışıklık hücrelerini yara bölgesine çeken kemokinleri serbest bırakır, böylece atık maddeleri ve patojenleri temizlemek için gerekli olan enflamatuvar yanıtı başlatır (Horng ve ark., 2017; Ruçigaj, 2021). Hemostatik materyaller ve vücudun biyolojik tepkisi arasındaki bu etkileşim, yalnızca hemostatik etki sağlamakla kalmayıp aynı zamanda genel iyileşme kaskadını da destekleyen yara örtülerinin oluşturulmasında önemlidir (Dong, 2024).

3. Enflamasyon aşaması

Enflamasyon, yara iyileşme sürecinde kritik bir aşamadır ve doku hasarına karşı gerekli bir yanıt olarak hizmet eder. Bu aşama, patojenlerin ve kalıntıların yara bölgesinden temizlenmesinde önemli rol oynayan ve böylece sonraki iyileşme süreçleri için zemin hazırlayan bağışıklık hücrelerinin, özellikle de nötrofillerin ve makrofajların bu bölgeye göçü ile karakterize edilir (Thandavarayan ve ark., 2015; Reinke & Sorg, 2012). Enflamatuvar yanıt yaralanmadan hemen sonra başlatılır ve enfeksiyonu önlemek ve doku onarımını kolaylaştırmak için gereklidir. Bununla birlikte, enflamasyonun zamanlaması çok önemlidir; uzun süreli veya aşırı enflamasyon kronik yaralara ve kötü iyileşmeye yol açabilir (Chen ve ark., 2012; Tanno ve ark., 2017).

Erken enflamatuvar yanıt, iyileşme sürecini düzenlemek için kritik olan interlökin-1 β (IL-1 β) ve tümör nekroz faktörü-alfa (TNF- α) gibi pro-enflamatuvar sitokinlerin salınımı ile karakterizedir (Thandavarayan ve ark., 2015; Ashcroft ve ark., 2011). Bu sitokinler, patojenleri temizlemeye ve iyileşme kaskadını başlatmaya yardımcı olan nötrofillerin yara bölgesine göç etmesini artırır. Nötrofillerin ardından, monositler yara bölgesine göç eder ve enflamatuvar fazdan iyileşmenin proliferatif fazına geçiş için gerekli olan makrofajlara farklılaşır (Reinke & Sorg, 2012; Tanno et al., 2017). Makrofajlar yalnızca kalıntıları temizlemeye devam etmekle kalmaz, aynı zamanda anjiyogenezi ve doku rejenerasyonunu destekleyen büyüme faktörleri ve sitokinler de salgılar (Wang ve ark., 2022; Wang ve ark., 2022).

Enflamatuvar yanıtların dengesi çok önemlidir; iyileşme için enflamasyon gerekli olsa da, aşırı enflamasyon doku hasarına ve iyileşmenin gecikmesine yol açabilir. Örneğin, diyabetik yaralarda, hiperaktif enflamatuvar yanıtlar, oksidatif stres ve matris bozulması ile karakterize, kendi kendini sürdüren bir kronik enflamasyon döngüsüne neden olabilir (Thandavarayan ve ark., 2015; Li & Wang, 2022). Bu kronik enflamatuvar durum, proliferatif faza geçişi engelleyerek sonuçta iyileşmeyen yaralara yol açabilir (Chen ve ark., 2012; Hu ve ark., 2018).

Son zamanlardaki çalışmalar, yara iyileşmesini artırmak için enflamatuvar yanıtı modüle etmenin önemini vurgulamıştır. Örneğin, aşırı inflamasyonu baskılayan ajanların topikal uygulamaları iyileşme sonuçlarını iyileştirmede umut vaat etmektedir (Huang, 2023; Xu ve ark., 2022). Ayrıca, ROS seviyelerinin fizyolojik bir aralıkta tutulması etkili iyileşme için gerekli olduğundan, reaktif oksijen türlerinin (ROS) enflamasyon ve yara iyileşmesini düzenlemedeki rolü dikkat çekilmiştir (Bryan ve ark., 2012; Sanchez ve ark., 2018).

4. Proliferasyon fazı

Yara iyileşmesinin proliferasyon fazı, doku onarımı ve rejenerasyonu için gerekli hücrelerin hızla çoğalmasıyla karakterize edilen kritik bir aşamadır. Bu aşama enflamatuvar yanıtı takip eder ve yeniden epitelizasyon, granülasyon dokusu oluşumu ve anjiyogenez için gereklidir, sonuç olarak yaranın kapanmasına yol açar (Beaudry ve ark., 2010; Li ve ark., 2013; Wu ve ark., 2019). Bu aşamada keratinositler, fibroblastlar ve endotelial hücreler gibi hücrelerin çoğalması, epidermal bariyerin restorasyonuna ve yeni kan damarlarının oluşumuna katkıda bulunduğu için özellikle önem arz etmektedir (Wee ve ark., 2022; Vinish ve ark., 2016).

Keratinosit proliferasyonu, bu hücrelerin yara yüzeyini kaplamak için göç etmektedir ve yeniden epitelizasyon için çok önemlidir. Çalışmalar, keratinositlerin göçünün ve çoğalmasının, hepatosit büyüme faktörü (HGF) ve transforme edici büyüme faktörü-beta (TGF- β) dahil olmak üzere çeşitli büyüme faktörleri tarafından düzenlendiğini göstermiştir (Li ark., 2013; Twilley ark., 2022). HGF'nin epidermal hücrelerin de diferansiyasyonunu teşvik ederek, göçlerini ve proliferasyonlarını kolaylaştırarak yara iyileşmesini hızlandırdığı gösterilmiştir (Li ve ark., 2013). Benzer şekilde, TGF- β granülasyon dokusunun oluşumu için gerekli olan keratinositlerin ve fibroblastların çoğalmasının uyarılmasında önemli bir rol oynar (Vinish ve ark., 2016; Jettanacheawchankit ve ark., 2009).

Proliferasyon aşamasında farklı hücre tipleri arasındaki etkileşim de kritik öneme sahiptir. Ayrıca, anjiyopoyetin benzeri proteinler keratinosit proliferasyonu ve migrasyonunun düzenlenmesiyle bağlantılıdır ve iyileşmenin bu aşamasını yöneten karmaşık sinyal ağlarının altını çizmektedir (Yang ve ark., 2023).

MikroRNA'lar (miRNA'lar) yara iyileşmesi sırasında hücre proliferasyonunun önemli düzenleyicileri olarak ortaya çıkmıştır. Örneğin, miR-31'in keratinosit proliferasyonunu ve göçünü artırdığı ve böylece yeniden epitelizasyonu kolaylaştırdığı tespit edilmiştir (Li ve ark., 2015). Benzer şekilde, miR-203'ün cildin yeniden epitelizasyonuna katkıda bulunduğu gösterilmiştir ve bu küçük kodlamayan RNA'ların yara iyileşme sürecinin düzenlenmesindeki rolünü vurgulamaktadır (Viticchiè ve ark., 2012). Ayrıca, RhoA ve JNK'yi içeren sinyal yollarının yara iyileşmesi sırasında epitel hücre çoğalmasını teşvik etmek için kritik öneme sahip olduğu tespit edilmiştir (Zhang ve ark., 2011).

5. Maturasyon aşaması

Yeniden şekillenme aşaması olarak da bilinen yara iyileşmesinin olgunlaşma aşaması, yaranın doku bütünlüğünü ve işlevselliğini yeniden sağlamak için önemli değişikliklere uğradığı iyileşme sürecinin son aşamasıdır. Bu aşama, yaranın ciddiyetine ve yaş, beslenme ve sağlık koşulları gibi bireysel faktörlere bağlı olarak aylar ya da yıllar sürebilir (Ma ve ark.,

2016; Ma ve ark., 2017). Bu evrede, proliferasyon evresinde ortaya çıkan kolajen matriks yeniden şekillenerek daha güçlü ve daha organize bir doku yapısı ortaya çıkar (Murthy ve ark., 2013; Crowe ve ark., 2000).

Olgunlaşma sırasındaki kilit süreçlerden biri kolajen liflerinin yeniden düzenlenmesidir. Başlangıçta, yarada biriken kolajen ağırlıklı olarak daha zayıf ve daha az organize olan tip III kolajendir. Zamanla bunun yerini daha fazla gerilme mukavemeti sağlayan tip I kolajen alır (Ma ve ark., 2016; Murthy ve ark., 2013). Kolajen liflerinin çapraz bağlanması da bu aşamada artarak iyileşmiş dokunun genel gücüne ve stabilitesine katkıda bulunur (Crowe ve ark., 2000).

Kolajenin yeniden şekillenmesine ek olarak, olgunlaşma aşaması yara bölgesindeki hücreliliğin azalmasını da içerir. İyileşme ilerledikçe, enflamatuvar hücrelerin sayısı azalır ve apoptoz (programlı hücre ölümü) artık ihtiyaç duyulmayan fazla hücrelerin uzaklaştırılmasında rol oynar (Crowe ve ark., 2000; Ghashghai ve ark., 2017). Hücrelilikteki bu azalma, yüksek oranda hücre granülasyon dokusundan daha organize skar dokusuna geçiş için esastır (Boyar ve ark., 2014). Kolajen sentezi ve yıkımı arasındaki denge de kritiktir; matriks metalloproteinazlar (MMP'ler) fazla kolajenin yıkımında rol oynarken, metalloproteinazların doku inhibitörleri (TIMP'ler) yeniden şekillenmeyi sağlamak için bu süreci düzenler (Ghashghai ve ark., 2017).

Proliferasyon aşamasında kurulan vasküler ağ da olgunlaşma sırasında değişikliğe uğrar. Artık ihtiyaç duyulmayan kan damarları yok edilir ve kalan damarlar stabilize olarak yeni oluşan dokuya yeterli kan akışını sağlar (Ma ve ark., 2016; Ma ve ark., 2017). Bu stabilizasyon, endotel hücrelerinin ve perisitlerin olgunlaşmasını teşvik ederek mikrovasküler ağın bütünlüğüne katkıda bulunan anjiyopoiyetinler gibi faktörlerden etkilenir (Ma ve ark., 2016; Ma ve ark., 2017).

Ayrıca, olgunlaşma fazı, çevredeki hücrelere yapısal ve biyokimyasal destek sağlayan hücre dışı matristeki (ECM) değişikliklerle karakterize edilir. ECM daha organize ve yoğun hale gelerek iyileşen dokunun düzgün işleyişini kolaylaştırır (Lothstein ve ark., 2022; Crowe ve ark., 2000). Büyüme faktörleri ve sitokinlerin varlığı, yeniden şekillenme sürecinin düzenlenmesinde rol oynamaya devam ederek dokunun uygun şekilde olgunlaşmasını sağlar (Das, 2024; Crowe ve ark., 2000).

SONUÇ

Etkili hemostaz, başarılı yara iyileşmesi için temel bir ön koşuldur. Gelişmiş hemostatik malzemelerin, özellikle de hidrojellerin geliştirilmesi, sadece hızlı pıhtı oluşumunu kolaylaştırmakla kalmayıp aynı zamanda sonraki iyileşme süreçleri için de en uygun ortamı yarattığından, yara bakımında önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir. İnflamasyon yara iyileşme sürecinde iki ucu keskin bir kılıçtır. İyileşmeyi başlatmak ve enfeksiyonu önlemek için gerekli olsa da, düzensizliği kronik yaralara ve bozulmuş iyileşmeye yol açabilir. Enflamatuvar yanıtın altında yatan mekanizmaları ve çözümünü anlamak, yara iyileşmesini artırmayı amaçlayan etkili tedaviler geliştirmek için çok önemlidir. Yara iyileşmesinin proliferasyon aşaması, çeşitli hücre tiplerinin ve sinyal moleküllerinin koordineli eylemlerini içeren çok yönlü bir süreçtir. Keratinositlerin, fibroblastların ve endotel hücrelerin çoğalması, etkili

yara kapanması ve doku rejenerasyonu için gereklidir. Yara iyileşmesinin olgunlaşma aşaması, kolajenin yeniden şekillenmesini, hücreliliğin azalmasını, vasküler ağın stabilizasyonunu ve hücre dışı matrisin yeniden düzenlenmesini içeren karmaşık ve dinamik bir süreçtir.

KAYNAKÇA

Amagase, K., Hayashi, S., Nishikawa, K., Aihara, E., & Takeuchi, K. (2007). Impairment of gastric ulcer healing by alendronate, a nitrogen-containing bisphosphonate, in rats. *Digestive Diseases and Sciences*, 52(8), 1879-1889. <https://doi.org/10.1007/s10620-007-9769-5>

Ashcroft, G., Jeong, M., Ashworth, J., Hardman, M., Jin, W., Moutsopoulos, N., ... & Wahl, S. (2011). Tumor necrosis factor-alpha (tnf- α) is a therapeutic target for impaired cutaneous wound healing. *Wound Repair and Regeneration*, 20(1), 38-49. <https://doi.org/10.1111/j.1524-475x.2011.00748.x>

Bai, Q., Teng, L., Zhang, X., & Dong, C. (2021). Multifunctional single-component polypeptide hydrogels: the gelation mechanism, superior biocompatibility, high performance hemostasis, and scarless wound healing. *Advanced Healthcare Materials*, 11(6). <https://doi.org/10.1002/adhm.202101809>

Beaudry, V., Ihrie, R., Jacobs, S., Nguyen, B., Pathak, N., Park, E., ... & Attardi, L. (2010). Loss of the desmosomal component perp impairs wound healing in vivo. *Dermatology Research and Practice*, 2010(1). <https://doi.org/10.1155/2010/759731>

Boyar, V., Handa, D., Clemens, K., & Shimborske, D. (2014). Clinical experience with leptospermum honey use for treatment of hard to heal neonatal wounds: case series. *Journal of Perinatology*, 34(2), 161-163. <https://doi.org/10.1038/jp.2013.158>

Bryan, N., Ahswain, H., Smart, N., Bayon, Y., Wohlert, S., & Hunt, J. (2012). Reactive oxygen species (ros) – a family of fate deciding molecules pivotal in constructive inflammation and wound healing. *eCM*, 24, 249-265. <https://doi.org/10.22203/ecm.v024a18>

Chen, X., Liu, Y., & Zhang, X. (2012). Topical insulin application improves healing by regulating the wound inflammatory response. *Wound Repair and Regeneration*, 20(3), 425-434. <https://doi.org/10.1111/j.1524-475x.2012.00792.x>

Crowe, M., Doetschman, T., & Greenhalgh, D. (2000). Delayed wound healing in immunodeficient tgf- β 1 knockout mice. *Journal of Investigative Dermatology*, 115(1), 3-11. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1747.2000.00010.x>

Das, M. (2024). A study of scarless wound healing through programmed inflammation, proliferation and maturation using a redox balancing nanogel. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 112(9), 1594-1611. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.37712>

Dong, W. (2024). Wound microenvironment-responsive peptide hydrogel with multifunctionalities for accelerating wound healing. *Journal of Peptide Science*, 30(7). <https://doi.org/10.1002/psc.3595>

- Ghashghaii, A., Hashemnia, M., Nikousefat, Z., Zangeneh, M., & Zangeneh, A. (2017). Wound healing potential of methanolic extract of *scrophularia striata* in rats. *Pharmaceutical Sciences*, 23(4), 256-263. <https://doi.org/10.15171/ps.2017.38>
- Haug, V., Liu, Q., Wu, M., Karvar, M., Aoki, S., Ma, C., ... & Orgill, D. (2021). Novel application of autologous micrografts in a collagen-glycosaminoglycan scaffold for diabetic wound healing. *Biomedical Materials*, 16(3), 035032. <https://doi.org/10.1088/1748-605x/abc3dc>
- Hornig, H., Chang, W., Yeh, C., Huang, B., Chang, C., Chen, Y., ... & Wang, P. (2017). Estrogen effects on wound healing. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(11), 2325. <https://doi.org/10.3390/ijms18112325>
- Hu, X., Zhu, S., R, L., Miller, J., Merkley, K., Tilton, R., ... & Liu, H. (2018). Sirt6 deficiency impairs corneal epithelial wound healing. *Aging*, 10(8), 1932-1946. <https://doi.org/10.18632/aging.101513>
- Huang, C. (2023). Improvement of wound healing by capsaicin through suppression of the inflammatory response and amelioration of the repair process. *Molecular Medicine Reports*, 28(2). <https://doi.org/10.3892/mmr.2023.13042>
- Huang, Y., Zhao, X., Zhang, Z., Liang, Y., Yin, Z., Chen, B., ... & Guo, B. (2020). Degradable gelatin-based ipn cryogel hemostat for rapidly stopping deep noncompressible hemorrhage and simultaneously improving wound healing. *Chemistry of Materials*, 32(15), 6595-6610. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.0c02030>
- Jettanacheawchankit, S., Sasithanasate, S., Sangvanich, P., Banlunara, W., & Thunyakitpisal, P. (2009). Acemannan stimulates gingival fibroblast proliferation; expressions of keratinocyte growth factor-1, vascular endothelial growth factor, and type i collagen; and wound healing. *Journal of Pharmacological Sciences*, 109(4), 525-531. <https://doi.org/10.1254/jphs.08204fp>
- Kanedi, M., Handayani, K., & Setiawan, W. (2022). Plants potential to be developed for wound healing medicine in indonesia. *International Journal of Frontiers in Life Science Research*, 3(1), 039-044. <https://doi.org/10.53294/ijflsr.2022.3.1.0062>
- Li, D., Li, X., Wang, A., Meisgen, F., Pivarcsi, A., Sonkoly, E., ... & Landén, N. (2015). MicroRNA-31 promotes skin wound healing by enhancing keratinocyte proliferation and migration. *Journal of Investigative Dermatology*, 135(6), 1676-1685. <https://doi.org/10.1038/jid.2015.48>
- Li, J. (2023). Procedural promotion of multiple stages in the wound healing process by graphene-spiky silica heterostructured nanoparticles. *International Journal of Nanomedicine*, Volume 18, 6585-6599. <https://doi.org/10.2147/ijn.s426552>
- Li, J., Duan, H., Wu, C., Zhang, D., Deng, Y., Yin, H., ... & Wang, Y. (2013). Hgf accelerates wound healing by promoting the dedifferentiation of epidermal cells through β 1-integrin/ilk pathway. *Biomed Research International*, 2013, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2013/470418>

- Li, L. and Wang, F. (2022). Wound healing and anti-inflammatory effects of anethum graveolens extract loaded in pva fibers: an in vitro and in vivo study. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, 37(4), 299-315. <https://doi.org/10.1177/08839115221104074>
- Li, X. (2024). Multifunctional hydrogels based on γ -polyglutamic acid/polyethyleneimine for hemostasis and wound healing. *Biomaterials Research*, 28. <https://doi.org/10.34133/bmr.0063>
- Lin, X. (2024). Self-cross-linked oxidized sodium alginate/gelatin/halloysite hydrogel as injectable, adhesive, antibacterial dressing for hemostasis. *Acs Sustainable Chemistry & Engineering*, 12(31), 11739-11753. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.4c03668>
- Ling, X., Wang, H., Wan, L., Guo, H., Liu, Z., Lin, C., ... & Zhang, X. (2020). Severity of albuminuria as an early indicator for wound healing in type 2 diabetic foot ulcers. *Wound Repair and Regeneration*, 29(1), 97-105. <https://doi.org/10.1111/wrr.12876>
- Lothstein, K., Chen, F., Mishra, P., Smyth, D., Wu, W., Lemenze, A., ... & Gause, W. (2022). A helminth mimic of $\text{tgf-}\beta$, tgm , enhances regenerative cutaneous wound healing and modulates immune cell recruitment and activation.. <https://doi.org/10.1101/2022.09.24.509317>
- Luo, M., Wang, Y., Xie, C., & Lei, B. (2022). Multiple coordination-derived bioactive hydrogel with proangiogenic hemostatic capacity for wound repair. *Advanced Healthcare Materials*, 11(18). <https://doi.org/10.1002/adhm.202200722>
- Ma, Z., Li, Z., Shou, K., Jian, C., Li, P., Niu, Y., ... & Yu, A. (2017). Negative pressure wound therapy: regulating blood flow perfusion and microvessel maturation through microvascular pericytes. *International Journal of Molecular Medicine*, 40(5), 1415-1425. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2017.3131>
- Ma, Z., Shou, K., Li, Z., Jian, C., Qi, B., & Yu, A. (2016). Negative pressure wound therapy promotes vessel destabilization and maturation at various stages of wound healing and thus influences wound prognosis. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 11(4), 1307-1317. <https://doi.org/10.3892/etm.2016.3083>
- Murthy, S., Gautam, M., Goel, S., Purohit, V., Sharma, H., & Goel, R. (2013). Evaluation of in vivo wound healing activity of bacopa monniera on different wound model in rats. *Biomed Research International*, 2013, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2013/972028>
- Oberinger, M., Jennewein, M., Motsch, S., Pohlemann, T., & Seekamp, A. (2005). Different cell cycle responses of wound healing protagonists to transient in vitro hypoxia. *Histochemistry and Cell Biology*, 123(6), 595-603. <https://doi.org/10.1007/s00418-005-0782-5>
- Passamaneck, Y. and Martindale, M. (2012). Cell proliferation is necessary for the regeneration of oral structures in the anthozoan cnidarian *nematostella vectensis*. *BMC Developmental Biology*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/1471-213x-12-34>
- Pazyar, N., Yaghoobi, R., Rafiee, E., Mehrabian, A., & Feily, A. (2014). Skin wound healing and phytomedicine: a review. *Skin Pharmacology and Physiology*, 27(6), 303-310. <https://doi.org/10.1159/000357477>

- Ramon-Mateu, J., Ellison, T., Te, A., & Mq, M. (2019). Regeneration in the absence of a blastema requires cell division but is not tied to wound healing in the ctenophore *mnemiopsis leidyi*. <https://doi.org/10.1101/509331>
- Reinertsen, E., Skinner, M., Wu, B., & Tawil, B. (2014). Concentration of fibrin and presence of plasminogen affect proliferation, fibrinolytic activity, and morphology of human fibroblasts and keratinocytes in 3d fibrin constructs. *Tissue Engineering Part A*, 20(21-22), 2860-2869. <https://doi.org/10.1089/ten.tea.2013.0423>
- Reinke, J. and Sorg, H. (2012). Wound repair and regeneration. *European Surgical Research*, 49(1), 35-43. <https://doi.org/10.1159/000339613>
- Ručigaj, T. (2021). Skin wound healing., 227-236. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53811-2_8
- Sanchez, M., Lancel, S., Boulanger, É., & Nevière, R. (2018). Targeting oxidative stress and mitochondrial dysfunction in the treatment of impaired wound healing: a systematic review. *Antioxidants*, 7(8), 98. <https://doi.org/10.3390/antiox7080098>
- Seo, E., Lim, J., Jun, J., Choi, W., Hong, I., & Jun, H. (2017). Exendin-4 in combination with adipose-derived stem cells promotes angiogenesis and improves diabetic wound healing. *Journal of Translational Medicine*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12967-017-1145-4>
- Shakya, S., He, Y., Ren, X., Guo, T., Maharjan, A., Luo, T., ... & Zhang, J. (2019). Ultrafine silver nanoparticles embedded in cyclodextrin metal-organic frameworks with grgds functionalization to promote antibacterial and wound healing application. *Small*, 15(27). <https://doi.org/10.1002/sml.201901065>
- Tanno, H., Kawakami, K., Emi, K., Suzuki, A., Takagi, N., Yamamoto, H., ... & Tachi, M. (2017). Invariant nkt cells promote skin wound healing by preventing a prolonged neutrophilic inflammatory response. *Wound Repair and Regeneration*, 25(5), 805-815. <https://doi.org/10.1111/wrr.12588>
- Teng, L., Shao, Z., Bai, Q., Zhang, X., He, Y., Lu, J., ... & Dong, C. (2021). Biomimetic glycopolyptide hydrogels with tunable adhesion and microporous structure for fast hemostasis and highly efficient wound healing. *Advanced Functional Materials*, 31(43). <https://doi.org/10.1002/adfm.202105628>
- Thandavarayan, R., Garikipati, V., Joladarashi, D., Babu, S., Jeyabal, P., Verma, S., ... & Krishnamurthy, P. (2015). Sirtuin-6 deficiency exacerbates diabetes-induced impairment of wound healing. *Experimental Dermatology*, 24(10), 773-778. <https://doi.org/10.1111/exd.12762>
- Twilley, D., Reva, O., Meyer, D., & Lall, N. (2022). Mupirocin promotes wound healing by stimulating growth factor production and proliferation of human keratinocytes. *Frontiers in Pharmacology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.862112>

- Vinish, M., Cui, W., Stafford, E., Bae, L., Hawkins, H., Cox, R., ... & Toliver-Kinsky, T. (2016). Dendritic cells modulate burn wound healing by enhancing early proliferation. *Wound Repair and Regeneration*, 24(1), 6-13. <https://doi.org/10.1111/wrr.12388>
- Viticchiè, G., Lena, A., Cianfarani, F., Odorisio, T., Annicchiarico-Petruzzelli, M., Melino, G., ... & Candi, E. (2012). MicroRNA-203 contributes to skin re-epithelialization. *Cell Death and Disease*, 3(11), e435-e435. <https://doi.org/10.1038/cddis.2012.174>
- Wang, C., Luo, S., Jia, S., Wu, W., Chang, S., Feng, S., ... & Wee, Y. (2022). Balance of macrophage activation by a complex coacervate-based adhesive drug carrier facilitates diabetic wound healing. *Antioxidants*, 11(12), 2351. <https://doi.org/10.3390/antiox11122351>
- Wang, C., Niu, H., Ma, X., Hong, H., Yuan, Y., & Liu, C. (2019). Bioinspired, injectable, quaternized hydroxyethyl cellulose composite hydrogel coordinated by mesocellular silica foam for rapid, noncompressible hemostasis and wound healing. *Acs Applied Materials & Interfaces*, 11(38), 34595-34608. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b08799>
- Wang, L., Hussain, Z., Zheng, P., Zhang, Y., Cao, Y., Gao, T., ... & Pei, R. (2023). A mace-like heterostructural enriched injectable hydrogel composite for on-demand promotion of diabetic wound healing. *Journal of Materials Chemistry B*, 11(10), 2166-2183. <https://doi.org/10.1039/d2tb02403a>
- Wang, P. (2024). Multifunctional therapeutic nanodiamond hydrogels for infected-wound healing and cancer therapy. *Acs Applied Materials & Interfaces*, 16(8), 9656-9668. <https://doi.org/10.1021/acsami.3c13464>
- Wang, Z., Fang, Q., Luo, H., Xu, G., & Wang, D. (2022). Inflammatory microenvironment of skin wounds. *Frontiers in Immunology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.789274>
- Wee, J., Low, Z., Ooi, C., Henategala, B., Lim, Z., Yip, Y., ... & Tan, N. (2022). Single-cell analysis of skin immune cells reveals an angptl4-ifi20b axis that regulates monocyte differentiation during wound healing. *Cell Death and Disease*, 13(2). <https://doi.org/10.1038/s41419-022-04638-7>
- Wu, P., Cao, Y., Zhao, R., & Wang, Y. (2019). Mir-96-5p regulates wound healing by targeting bnip3/fak pathway. *Journal of Cellular Biochemistry*, 120(8), 12904-12911. <https://doi.org/10.1002/jcb.28561>
- Xu, Q., Dai, X., Yang, L., Liu, X., Liu, Y., & Gao, F. (2022). E-polylysine-based macromolecules with catalase-like activity to accelerate wound healing by clearing bacteria and attenuating inflammatory response. *Acs Biomaterials Science & Engineering*, 8(11), 5018-5026. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.2c00986>
- Yang, Y., Yu, C., Le, Y., Gong, W., Ju, J., Zhang, G., ... & Fu, Y. (2023). Angiopoietin-like 4 promotes epidermal stem cell proliferation and migration and contributes to cutaneous wound re-epithelialization. *Acta Biochimica Et Biophysica Sinica*, 55(8), 1265-1274. <https://doi.org/10.3724/abbs.2023055>

Zhang, C., Zhu, Y., Lu, S., Zhong, W., Wang, Y., & Chai, Y. (2019). Platelet-rich plasma with endothelial progenitor cells accelerates diabetic wound healing in rats by upregulating the notch1 signaling pathway. *Journal of Diabetes Research*, 2019, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2019/5920676>

Zhang, M., Liu, N., Wang, X., Chen, Y., Li, Q., Lu, K., ... & Zhang, L. (2011). Activin b promotes epithelial wound healing in vivo through rhoa-jnk signaling pathway. *Plos One*, 6(9), e25143. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025143>

Zhao, X., Guo, B., Wu, H., Liang, Y., & Peter, X. (2018). Injectable antibacterial conductive nanocomposite cryogels with rapid shape recovery for noncompressible hemorrhage and wound healing. *Nature Communications*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04998-9>

Zhao, X., Liang, Y., Huang, Y., He, J., Han, Y., & Guo, B. (2020). Physical double-network hydrogel adhesives with rapid shape adaptability, fast self-healing, antioxidant and nir/ph stimulus-responsiveness for multidrug-resistant bacterial infection and removable wound dressing. *Advanced Functional Materials*, 30(17). <https://doi.org/10.1002/adfm.201910748>

YARA TEDAVİSİNDE mTOR SİNYAL YOLAĞI ve mTOR İNHİBİTÖRLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed DENİZ

Kafkas Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Cerrahi Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı
m.deniz476474@gmail.com- ORCID ID:0000-0001-6129-9526

Doç. Dr. Mustafa MAKAV

Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı
mustafamakav@gmail.com- ORCID ID:0000-0003-1879-8180

ÖZET

Rapamisin'in memeli hedefi (mTOR) sinyal yolu, hücre çoğalması, göçü ve hayatta kalması dahil olmak üzere çeşitli hücresel süreçleri düzenleyerek yara iyileşmesinde önemli bir rol oynar. mTOR, besinlerden, büyüme faktörlerinden ve hücresel stresten gelen sinyalleri entegre eden ve böylece hücresel metabolizmayı ve işlevi etkileyen bir serin/treonin kinazdır. mTOR yolağının aktivasyonu yara iyileşme sürecini geliştirirken inhibisyonu ise yara iyileşmesini geciktirmektedir. Araştırmalarda, mTOR sinyalinin aktivasyonu çeşitli modellerde yara iyileşmesini hızlandırmıştır. Örneğin, epitel hücrelerinde mTOR'un koşullu aktivasyonunun genetik olarak tanımlanmış fare modellerinde keratinosit göçünü ve çoğalmasını teşvik ederek yara iyileşme sonuçlarını önemli ölçüde iyileştirmiştir. Rapamisin gibi mTOR inhibitörlerinin kullanımı, yara iyileşmesini engellenmesi ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, mTOR inhibitörlerinin cilt karsinogenezisi azaltmada etkili olmalarına rağmen, yara iyileşme sürecini bozdukları vurgulanmaktadır. Böylece hem kanser hem de doku onarımı süreçlerinde mTOR sinyalinin ikili doğasının önemi belirtilmektedir. Diyabetik yara iyileşmesinde mTOR inhibitörlerinin diyabetik hastalarda iyileşme sürecini daha da geciktirdiği bildirilmektedir. mTOR inhibisyonunun, özellikle diyabetik koşullarda yara iyileşmesinde rol oynadığı bilinen miyeloid türevli baskılayıcı hücreleri (MDSC'ler) düzenleyebileceği bildirilmektedir. Özetle, mTOR sinyal yolu yara iyileşmesinin kritik bir düzenleyicisidir ve doku onarımı için gerekli olan çeşitli hücresel süreçleri etkiler. Bu yolun aktivasyonu iyileşmeyi teşvik ederken, mTOR inhibitörleri yoluyla inhibisyonu, özellikle diyabetik hastalarda iyileşmenin gecikmesine yol açabilir. Bu nedenle, mTOR sinyalizasyonunun yara iyileşmesindeki rollerini anlamak, etkili terapötik stratejiler geliştirmek için gereklidir.

Anahtar Kelimeler: mTOR, Yara iyileşmesi, Diyabet

mTOR SIGNAL PATHWAY and mTOR INHIBITORS IN WOUND TREATMENT

ABSTRACT

The mammalian target of rapamycin (mTOR) signaling pathway plays an important role in wound healing by regulating various cellular processes, including cell proliferation, migration and survival. mTOR is a serine/threonine kinase that integrates signals from nutrients, growth factors and cellular stress, thereby affecting cellular metabolism and function. Activation of the mTOR pathway enhances the wound healing process, while inhibition delays wound healing. In studies, activation of mTOR signaling accelerated wound healing in various models. For example, conditional activation of mTOR in epithelial cells significantly improved wound healing outcomes by promoting keratinocyte migration and proliferation in genetically defined mouse models. The use of mTOR inhibitors such as rapamycin has been associated with inhibition of wound healing. It is also emphasized that although mTOR inhibitors are effective in reducing skin carcinogenesis, they impair the wound healing process. Thus, the importance of the dual nature of mTOR signaling in both cancer and tissue repair processes is emphasized. In diabetic wound healing, mTOR inhibitors are reported to further delay the healing process in diabetic patients. mTOR inhibition may regulate myeloid-derived suppressor cells (MDSCs), which are known to play a role in wound healing, especially in diabetic conditions. In summary, the mTOR signaling pathway is a critical regulator of wound healing and influences various cellular processes essential for tissue repair. Activation of this pathway promotes healing, while its inhibition via mTOR inhibitors can lead to delayed healing, especially in diabetic patients. Therefore, understanding the roles of mTOR signaling in wound healing is essential for developing effective therapeutic strategies.

Keywords: mTOR, Wound healing, Diabetes

1. GİRİŞ

mTOR yolu, etkili yara iyileşmesi için hayati önem taşıyan büyüme faktörlerine ve besin maddelerine karşı hücrel tepkilerin düzenlenmesi için gereklidir. mTOR'un aktivasyonu hücre çoğalması, göç ve anjiyogenez gibi süreçleri teşvik eder ve bunların hepsi doku onarımı için çok önemlidir. mTOR aktivasyonunun genetik olarak tanımlanmış fare modellerinde yara iyileşmesini hızlandırdığı bildirilmiş ve onarım için gerekli hücrel faaliyetlerin desteklenmesindeki önemini vurgulanmıştır (Squarize ve ark., 2010). Ayrıca, PI3K/Akt/mTOR sinyal yolunun fibroblast fonksiyonunu ve keratinosit göçünü düzenlediği gösterilmiştir (Hao ve ark., 2022).

Diyabetik yaralarda, mTOR yolu genellikle düzensizdir ve bu da iyileşmenin bozulmasına neden olur. Diyabetle ilişkili kronik enflamatuvar durum, mTOR'un kalıcı aktivasyonu ile sonuçlanabilir ve bu da diyabetik yaraların kronikleşmesine katkıda bulunabilir. mTOR yolağının enflamatuvar yanıtların modülasyonunda rol oynadığını ve düzensizliğinin diyabetik hastalarda iyileşme sürecini daha da kötüleştirebileceğini göstermektedir (Chen, 2024). Ayrıca, mTOR ile SIRT1/NF-κB yolakları gibi diğer sinyal yolakları arasındaki etkileşim, mTOR'un diyabetik koşullarda yara iyileşmesini nasıl etkilediğini anlamak için çok önemlidir (Hao ve ark., 2022).

Yara tedavisinde mTOR inhibitörlerinin kullanımı karmaşıklık teşkil etmektedir. Rapamisin gibi bu inhibitörlerin enflamatuvar tepkileri modüle ettiği ve potansiyel terapötik uygulamalara sahip olduğu bilinmekle birlikte, iyileşme sürecini de bozabilirler. Everolimus ile tedavinin deneysel yaralarda anjiyogenez ve yara iyileşmesi için kritik olan enflamatuvar hücre sayılarının azaldığı ve vasküler endotelial büyüme faktörü (VEGF) seviyelerinin düşmesi ile sonuçlandığını bildirilmiştir (Willems et al., 2010). Öte yandan, bazı çalışmalar mTOR inhibitörlerinin belirli bağlamlarda yara iyileşmesini destekleyebileceğini göstermiştir. Örneğin, Li ve ark. (2021), mTOR inhibitörü INK128'in diyabetik modellerde miyeloid türevli baskılayıcı hücreleri (MDSC'ler) düzenleyerek yara iyileşmesini artırabileceğini bulmuş ve mTOR yolağının modülasyonunun diyabette iyileşme sürecini olumlu yönde etkileyebileceğini öne sürmüştür.

Ayrıca, mTOR inhibisyonunun zamanlaması yara iyileşmesi üzerindeki etkilerini etkileyen kritik faktörlerdir. Kronik inhibisyon iyileşmenin gecikmesine yol açabilirken, geçici inhibisyon anjiyogenez bozmadan aşırı inflamasyonu azaltarak iyileşme yanıtını potansiyel olarak artırabilir (Li ve ark., 2021).

2. mTOR sinyal yolunun yara iyileşmesindeki rolü

Rapamisin (mTOR) sinyal yolunun mekanik hedefi, hücre çoğalması, göçü ve farklılaşması gibi çeşitli hücrel süreçleri etkileyerek yara iyileşmesinde kritik bir rol oynar. mTOR yolu, yara iyileşmesi sürecinde büyüme faktörlerine ve stres sinyallerine karşı hücrel tepkilerin düzenlenmesi için gerekli olan fosfoinozitid 3-kinaz (PI3K)/Akt sinyal yolu ile karmaşık bir şekilde bağlantılıdır.

mTOR yolunun aktivasyonunun etkili yara iyileşmesi için çok önemli olduğu bildirilmektedir. Örneğin, Jin ve ark. (2013) mikroRNA-99 ailesinin AKT/mTOR sinyal yolunu hedeflediğini vurgulayarak, bu yolun modülasyonunun hücre çoğalmasımı ve göçünü düzenleyerek dermal yara iyileşmesini önemli ölçüde etkileyebileceğini belirtmiştir. Benzer şekilde, Rosselli-Murai ve ark. (2013) mTOR'un normal iyileşme sürecinin ayrılmaz bir parçası olduğunu ve inhibisyonunun yara iyileşmesinde gecikmeye yol açabileceğini belirterek doku rejenerasyonundaki önemini altını çizmiştir. Ayrıca, Squarize ve ark. (2010), mTOR aktivasyonunun genetik olarak tanımlanmış fare modellerinde yara iyileşmesini hızlandırdığına dair kanıtlar sunarak, yolağın onarım için gerekli hücrel aktiviteyi desteklemedeki rolünü güçlendirmiştir.

mTOR yolağının katılımı, yara iyileşmesini artırmayı amaçlayan çeşitli terapötik yaklaşımlara kadar uzanmaktadır. Örneğin Chen (2024), özel pansumanların PI3K/Akt/mTOR yolağını aktive ederek diyabetik ayak ülseri iyileşmesini destekleyebileceğini bildirmiş ve yolağın dış uyaranlara karşı duyarlılığını göstermiştir. Ayrıca, Huang ve ark. (2015) Akt/mTOR yolağındaki işlev bozukluğunun diyabetik sıçanlarda yara iyileşmesine katkıda bulunduğunu tespit ederek, bu sinyalin güçlendirilmesinin diyabetle ilişkili iyileşme eksikliklerini iyileştirebileceğini öne sürmüştür. Bu durum, kök hücrelerden türetilen hücre dışı veziküllerin PI3K/Akt/mTOR yolunun aktivasyonu yoluyla yara iyileşmesini artırabildiğini gösteren ve bu sinyal kaskadını hedeflemenin terapötik potansiyelini vurgulayan çalışmalarla da desteklenmektedir (Liu ve ark., 2022).

Ayrıca, mTOR yolağının yara iyileşmesindeki rolü hücre çoğalması ve göçü ile sınırlı değildir. Aynı zamanda iyileşme sürecinin hayati bir bileşeni olan anjiyogenez de etkilediği belirtilmiştir. PI3K/Akt/mTOR yolağının aktivasyonunun, yara iyileşmesi sırasında anjiyogenez için çok önemli olan vasküler endotelial büyüme faktörü (VEGF) seviyelerinin artmasına neden olduğunu bildirilmiştir (Gan ve ark., 2021). Bu durum, mTOR yolağının yara iyileşmesini düzenleyen otofaji süreçlerine dahil olduğu belirtilmektedir (Zheng ve ark., 2020).

3. mTOR inhibitörlerinin yara iyileşmesindeki rolü

mTOR inhibitörlerinin yara iyileşmesindeki rolü karmaşık ve çok yönlü bir araştırma alanıdır. mTOR (rapamisin mekanik hedefi) büyüme, çoğalma ve metabolizma gibi hücrel süreçlerin kritik bir düzenleyicisidir. İnhibisyonunun yara iyileşmesi üzerinde hem yararlı hem de zararlı etkileri olduğu gösterilmiştir.

Birincil mTOR inhibitörlerinden biri olan rapamisin (sirolimus olarak da bilinir), yara iyileşmesi üzerindeki etkilerinin kapsamlı araştırmaları devam etmektedir. mTOR aktivasyonu genellikle gelişmiş yara iyileşmesi ile ilişkilendirilirken, bu yolun inhibisyonu olumsuz sonuçlara yol açabilir. Örneğin, Willems ve ark. (2010), başka bir mTOR inhibitörü olan everolimus ile tedavinin deneysel yaralarda inflamatuvar hücre sayısının azalmasına neden olduğunu, ancak aynı zamanda her ikisi de anjiyogenez ve yara iyileşmesi için çok önemli olan vasküler endotelial büyüme faktörü (VEGF) ve nitrik oksit seviyelerinin azaldığını bildirmiştir. Bu durum, mTOR inhibitörlerinin enflamasyonu modüle edebilirken, etkili yara iyileşmesi için gerekli olan anjiyojenik yanıtı da bozabileceğini düşündürmektedir.

Buna karşılık, bazı çalışmalar mTOR inhibitörlerinin belirli durumlarda koruyucu etkilere sahip olabileceğini göstermiştir. Örneğin, Javid ve ark. (2018), mTOR yolunu aktive eden rosmarinus tedavisinin deri flep sağkalımını iyileştirdiğini, ancak bu etkinin rapamisin ile tersine çevrildiğini göstererek, mTOR aktivitesinin belirli iskemik koşullarda optimal iyileşme için gerekli olduğunu göstermiştir. Bu, mTOR'un yara iyileşmesindeki ikili rolünü vurgulamaktadır; burada inhibisyonu, güçlü anjiyogenez ve doku rejenerasyonu gerektiren senaryolarda zararlı olabilir.

Ayrıca, mTOR inhibitörlerinin kullanımı çeşitli çalışmalarda gecikmiş yara iyileşmesi ile ilişkilendirilmiştir. Örneğin, sirolimus gibi mTOR inhibitörlerinin cilt karsinogenezini azaltmada etkili olmakla birlikte, özellikle diyabetik ayak ülserlerinde yara iyileşme süreçlerini de bozduğu belirtilmiştir (Feldmeyer ve ark., 2011). Bu durum, mTOR inhibisyonunun hücre sel onarım süreçlerini baskılayarak yara iyileşmesini potansiyel olarak tehlikeye atabileceğini öne sürülmektedir (Mo ve ark., 2016).

Bununla birlikte, mTOR inhibisyonunun zamanlaması çok önemli görülmektedir. Örneğin, kronik mTOR inhibisyonu yara iyileşmesini engelleyebilirken, geçici inhibisyon aynı olumsuz etkiye sahip olmayabilir. mTOR aktivitesinin duysal akson rejenerasyonu için gerekli olduğunu bulunmuş, bu da mTOR'un rejenerasyondaki rolüne bağlı olabileceğini düşündürmektedir (Chen ve ark., 2016). Bu durum, mTOR inhibitörlerinin yara iyileşmesi üzerindeki etkilerinin spesifik biyolojik ortama ve müdahalenin zamanlamasına bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir.

4. Diyabetik yara iyileşmesinde mTOR sinyali

Rapamisin (mTOR) sinyal yolunun mekanik hedefi, diyabetik yara iyileşmesinin patofizyolojisinde, özellikle de diyabetik ayak ülserlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Diyabetik hastalar, mTOR aktivitesinden etkilenen bozulmuş anjiyogenez, inflamasyon ve hücre sel metabolizma dahil olmak üzere çeşitli faktörler nedeniyle sıklıkla gecikmiş yara iyileşmesi yaşarlar.

Diyabetik yara iyileşmesinde, mTOR sinyali, doku onarımı için gerekli olan büyüme faktörlerine ve besin maddelerine karşı hücre sel tepkileri düzenlemek için çok önemlidir. Çalışmalar, mTOR aktivasyonunun yara iyileşmesi için hayati önem taşıyan hücre proliferasyonunu ve göçünü desteklediğini göstermiştir. Örneğin, mTOR inhibitörü INK128'in diyabetik modellerde miyeloid türevli baskılayıcı hücreleri (MDSC'ler) düzenleyerek yara iyileşmesini artırabileceğini göstermekte ve mTOR yolağının modülasyonunun diyabetik hastalarda iyileşme sürecini olumlu yönde etkileyebileceği bildirilmiştir (Li ve ark., 2021). MDSC'lerin enflamasyon ve doku onarımında rol oynadığı bilinmektedir ve mTOR sinyali ile düzenlenmeleri diyabette yara iyileşmesini iyileştirmede kilit bir mekanizma olabilir.

Ayrıca, diyabette mTOR sinyalinin düzensizliği, yara iyileşmesinde kritik bir faktör olan bozulmuş anjiyogenez ile ilişkilendirilmiştir. Anjiyogenez, iyileşen dokuya besin ve oksijen sağlamak için gereklidir ve mTOR bu sürecin merkezi bir düzenleyicisidir. Diyabetik koşullarda, bozulmuş anjiyojenik yanıt kronik yaralara ve amputasyon riskinin artmasına neden olabilir. mTOR inhibitörlerinin anjiyogenezini engelleyebileceğini ve böylece diyabetik

hastalarda yara iyileşmesi komplikasyonlarını şiddetlendirebileceğini göstermektedir (Feldmeyer ve ark., 2011). Bu durum, mTOR sinyalizasyonunun hedeflenmesinde gerekli olan hassas dengeyi vurgulamaktadır; inhibisyonun belirli bağlamlarda terapötik faydaları olabilirken, diğerlerinde iyileşme sürecini engelleyebilir.

Bununla birlikte, diyabetle ilişkili kronik enflamatuvar durum yara iyileşmesini daha da karmaşık hale getirebilir. Pro-enflamatuvar sitokinlerin yüksek seviyeleri, mTOR sinyalinin kalıcı aktivasyonuna yol açabilir ve bu da diyabetik yaraların kronikleşmesine katkıda bulunabilir. mTOR inhibitörlerinin enflamatuvar yanıtları modüle edebileceğini ve diyabetik yaralarda enflamatuvar yükü potansiyel olarak azaltabileceği gösterilmiştir (Li ve ark., 2021). Ayrıca, mTOR'un aşırı baskılanması gerekli hücrel işlevleri bozarak iyileşmeyi geciktirebileceğinden, mTOR inhibisyonunun zamanlaması kritik öneme sahiptir.

Ayrıca, mTOR sinyali ile PI3K/Akt yolağı gibi diğer yollar arasındaki etkileşim, diyabetik yara iyileşmesini anlamak için çok önemlidir. PI3K/Akt yolunun mTOR'u aktive ettiği bilinmektedir ve diyabetteki düzensizliği daha iyi iyileşme için gerekli hücrel tepkilerin bozulmasına yol açabilir. Diyabetik ayak ülserlerinin, mTOR sinyali ile birbirine bağlı olan bozulmuş vasküler perfüzyon ve nöropati dahil olmak üzere çoklu patofizyolojik mekanizmalardan kaynaklandığı da vurgulanmaktadır (Jiang ve ark., 2015).

SONUÇ

mTOR sinyal yolu, etkili doku onarımı için gerekli olan çeşitli hücrel süreçleri etkileyen, yara iyileşmesinin önemli bir düzenleyicisidir. Aktivasyonu hücre proliferasyonunu, göçünü ve anjiyogenezi teşvik ederek, özellikle iyileşmenin sıklıkla tehlikeye girdiği diyabet gibi durumlarda, yara iyileşmesini artırmayı amaçlayan terapötik müdahaleler için umut verici bir hedef haline getirir. mTOR inhibitörleri yara iyileşmesi bağlamında karmaşık bir zorluk teşkil etmektedir. Enflamatuvar tepkileri modüle edebilmelerine ve potansiyel terapötik uygulamalara sahip olmalarına rağmen, genel etkileri, özellikle anjiyogenez ve sağlam doku rejenerasyonu gerektiren senaryolarda iyileşme süreci üzerinde engelleyici olma eğilimindedir. mTOR inhibitörlerinin yara iyileşmesini etkilediği kesin mekanizmaları tanımlamak ve olumsuz etkilerini hafifletmek için potansiyel stratejileri keşfetmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. mTOR diyabetik yara iyileşmesinde hücre proliferasyonu, anjiyogenez ve inflamasyon gibi süreçleri etkileyen çok yönlü bir rol oynamaktadır. mTOR inhibitörleri, yara iyileşmesinin belirli yönlerini modüle etmede terapötik potansiyel sunabilirken, etkileri bağlama bağlı olabilir ve klinik uygulamalarda dikkatli bir değerlendirme gerektirir. Gelecekteki araştırmalar, mTOR sinyalinin diyabetik yara iyileşmesini etkilediği kesin mekanizmaları aydınlatmaya ve temel rejeneratif süreçlerden ödün vermeden iyileşme sonuçlarını artırabilecek hedefe yönelik tedavileri keşfetmeye odaklanmalıdır.

KAYNAKÇA

- Chen, C. (2024). Foam dressing and micropower vacuum dressing promote diabetic foot ulcer wound healing by activating the pi3k/akt/mTOR pathway in rats. *Journal of Biomaterials Applications*, 39(1), 40-47. <https://doi.org/10.1177/08853282241248780>
- Chen, W., Lü, N., Ding, Y., Wang, Y., Chan, L., Wang, X., ... & Liu, K. (2016). Rapamycin-resistant mTOR activity is required for sensory axon regeneration induced by a conditioning lesion. *Eneuro*, 3(6), ENEURO.0358-16.2016. <https://doi.org/10.1523/eneuro.0358-16.2016>
- Feldmeyer, L., Hofbauer, G., Böni, T., French, L., & Hafner, J. (2011). Mammalian target of rapamycin (mTOR) inhibitors slow skin carcinogenesis, but impair wound healing. *British Journal of Dermatology*, 166(2), 422-424. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2011.10591.x>
- Gan, D., Su, Q., Su, H., Wu, L., Han, B., & Xiang, M. (2021). Burn ointment promotes cutaneous wound healing by modulating the pi3k/akt/mTOR signaling pathway. *Frontiers in Pharmacology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.631102>
- Hao, M., Peng, X., Sun, S., Ding, C., & Liu, W. (2022). Chitosan/sodium alginate/velvet antler blood peptides hydrogel promoted wound healing by regulating pi3k/akt/mTOR and sirt1/nf-κB pathways. *Frontiers in Pharmacology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.913408>
- Huang, H., Cui, W., Qiu, W., Zhu, M., Zhao, R., Deng-fen, Z., ... & Xu, X. (2015). Impaired wound healing results from the dysfunction of the akt/mTOR pathway in diabetic rats. *Journal of Dermatological Science*, 79(3), 241-251. <https://doi.org/10.1016/j.jdermsci.2015.06.002>
- Javid, Z., Norouzy, A., Bangaleh, Z., & Shadnough, M. (2018). Rosmarinus improved skin flap survival through mTOR dependent pathway. *Serbian Journal of Dermatology and Venerology*, 10(4), 113-118. <https://doi.org/10.2478/sjdv-2018-0016>
- Jiang, Y., Wang, X., Lei, X., Fu, X., Zhang, X., Ran, X., ... & Li, Q. (2015). A cohort study of diabetic patients and diabetic foot ulceration patients in china. *Wound Repair and Regeneration*, 23(2), 222-230. <https://doi.org/10.1111/wrr.12263>
- Jin, Y., Tymen, S., Chen, D., Fang, Z., Zhao, Y., Dragas, D., ... & Zhou, X. (2013). MicroRNA-99 family targets akt/mTOR signaling pathway in dermal wound healing. *Plos One*, 8(5), e64434. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064434>
- Li, Y., Xu, Y., Liu, X., Yan, X., Lin, Y., Tan, Q., ... & Hou, Y. (2021). Mtor inhibitor ink128 promotes wound healing by regulating mdscs.. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-55356/v3>
- Liu, Z., Yang, J., Chen, Y., Chen, C., Wang, J., Lee, Y., ... & Luo, G. (2022). P311 facilitates the angiogenesis and wound healing function of MSCs by increasing vegf production. *Frontiers in Immunology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.821932>

Mo, W., Liu, Q., Lin, C., Dai, H., Peng, Y., Liang, Y., ... & Lin, S. (2016). Mtor inhibitors suppress homologous recombination repair and synergize with parp inhibitors via regulating suv39h1 in brca-proficient triple-negative breast cancer. *Clinical Cancer Research*, 22(7), 1699-1712. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.ccr-15-1772>

Rosselli-Murai, L., Almeida, L., Zagni, C., Galindo-Moreno, P., Padial-Molina, M., Volk, S., ... & Castilho, R. (2013). Periostin responds to mechanical stress and tension by activating the mtor signaling pathway. *Plos One*, 8(12), e83580. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083580>

Squarize, C., Castilho, R., Bugge, T., & Gutkind, J. (2010). Accelerated wound healing by mtor activation in genetically defined mouse models. *Plos One*, 5(5), e10643. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010643>

Willems, M., Vliet, J., Man, B., Laak, J., Lomme, R., & Hendriks, T. (2010). Persistent effects of everolimus on strength of experimental wounds in intestine and fascia. *Wound Repair and Regeneration*, 18(1), 98-104. <https://doi.org/10.1111/j.1524-475x.2009.00558.x>

Zheng, A., Ma, H., Liu, X., Huang, Q., Li, Z., Wang, L., ... & Wu, B. (2020). Effects of moist exposed burn therapy and ointment (mebt/mebo) on the autophagy mtor signalling pathway in diabetic ulcer wounds. *Pharmaceutical Biology*, 58(1), 124-130. <https://doi.org/10.1080/13880209.2019.1711430>

SAĞLIĞI GELİŞTİREN ŞEHİRLER VE SAĞLIKLI KENT POLİTİKALARINDA HALK SAĞLIĞI HEMŞİRESİNİN ROLÜ

THE ROLE OF PUBLIC HEALTH NURSE IN HEALTH IMPROVING CITIES AND HEALTHY CITY POLICIES

¹**Doç. Dr. Semra KOCATAŞ**

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Sağlık Bilimleri Fakültesi/Hemşirelik Bölümü/

Halk Sağlığı Hemşireliği Ana Bilim Dalı

skocatas@cumhuriyet.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-7566-0060

²**Hemşire Sümeyye FIRAT**

Sivas Gözde Bakım Merkezi/ (Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Sağlık Bilimleri Enstitüsü/

Halk Sağlığı Hemşireliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Öğrencisi)

sumeyyefirat70@gmail.com - ORCID ID: 0009-0000-6792-1988

ÖZET

Dünya Sağlık Örgütü, 1986’da Avrupa’da “Herkes İçin Sağlık” ilkesini gündeme getirmiş ve Halk Sağlığı alanında “Sağlıklı Kentler Projesini” başlatmıştır. Avrupa’da uygulanıp yaygınlaşan projeler sonucunda “Sağlıklı Kentler Hareketi”, “Sağlıklı Kentler Ağına” çevrilmiş, birçok kent ve belediye bu sürece dâhil olup girişimlere başlamıştır. Özellikle yerel yönetimlerin öncülüğünde geliştirilen ve uzun vadeli politikalarla ilerleyen “Sağlıklı Şehirler Projesi”, şehirlerde yaşayan insanların psikolojik ve fiziksel sağlıklarını, refah düzeylerini geliştirmeyi ve arttırmayı amaçlamaktadır.

Ülkemizde de kentlere ilişkin uygulamaları takip eden kuruluş “Türkiye Sağlıklı Kentler Birliğidir”. Dünya Sağlık Örgütünün başlatmış olduğu “Sağlıklı Kentler Projesine” çalışmaların başladığı yıllardan itibaren Avrupa’daki kentler gibi Türkiye’deki birçok şehir de katılım sağlamıştır. Sağlıklı Kentler Projesinin amacına uygun olarak dünyada ve Türkiye’de birçok kent iş birliği içinde çalışmalar yürütmektedir. Dünya genelinde yürütülen “Sağlıklı Kent Projeleri” arasında; sağlıkta eşitsizlikleri azaltmak, toplumun geliştirilmesini ve güçlendirilmesini teşvik etmek ve sağlığı destekleyen sosyal çevreler oluşturmak gibi projeler sıralanabilir. Türkiye’de yürütülen “Sağlıklı Kent Projeleri” arasında; açık ve yeşil alanlar, spor ve aktif yaşamın desteklenmesi, bina düzenlemeleri gibi projeler bulunmaktadır. Sağlığı geliştiren şehir politikalarının uygulanmasında özellikle halk sağlığı hemşireleri; toplumun sağlıklı bir çevrede yaşaması için topluma sağlık eğitimi vererek eğitici rolünü, olumsuz çevresel koşulların iyileştirilmesi yönünde ilgili kurum ve kuruluşlarla toplum adına görüşerek savunuculuk rolünü kullanarak kilit pozisyonda yer almaktadırlar. “Sağlıklı Kentler Hareketinin” Türkiye’de yürütülmesini ve desteklenmesini sağlamak amacıyla kurulan “Sağlıklı Kentler Birliği”, üye belediyelerle birlikte sağlıklı kent çalışmalarını sürdürmektedir.

Bu derleme, Dünya Sağlık Örgütü tarafından yürütülen, Türkiye’de ve dünyada kabul gören “Sağlıklı Kentler Projesi” çalışmalarına dikkat çekmek ve sağlığı geliştiren şehirler ve sağlıklı kent politikalarında halk sağlığı hemşiresinin rolünü vurgulamak için yazılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sağlık, Kent, Sağlığı Geliştiren Kent/Şehir, Sağlıklı Kentler Projesi, Halk Sağlığı Hemşiresi

THE ROLE OF PUBLIC HEALTH NURSE IN HEALTH IMPROVING CITIES AND HEALTHY CITY POLICIES

ABSTRACT

The World Health Organization brought the principle of ‘Health for All’ to the agenda in Europe in 1986 and initiated the ‘Healthy Cities Project’ in the field of Public Health. As a result of the projects implemented and spreading in Europe, the Healthy Cities Movement was transformed into the Healthy Cities Network, and many cities and municipalities were included in this process and started initiatives. The Healthy Cities Project, which was developed especially under the leadership of local governments and progressed with long-term policies, aims to develop and increase the psychological and physical health and welfare levels of people living in cities.

The organization that follows the practices related to cities in our country is the Turkish Healthy Cities Association. Since the beginning of the studies, many cities in Turkey, as well as cities in Europe, have participated in the Healthy Cities Project initiated by the World Health Organization. In accordance with the purpose of the Healthy Cities Project, many cities in the world and in Turkey are carrying out studies in cooperation. Among the Healthy City Projects carried out worldwide; projects such as reducing health inequalities, encouraging the development and strengthening of society and creating social environments that support health can be listed. Among the Healthy Cities Projects in Turkey; there are projects such as open and green areas, supporting sports and active life, building arrangements. In the implementation of health-improving city policies, especially public health nurses; They play a key role by providing health education to the society so that it can live in a healthy environment and by using their advocacy role by meeting with relevant institutions and organizations on behalf of the society to improve negative environmental conditions. The Healthy Cities Association, which was established to ensure that the Healthy Cities Movement is carried out and supported in Turkey, continues its healthy city studies together with its member municipalities.

This compilation was written to draw attention to the Healthy Cities Project studies carried out by the World Health Organization and accepted in Turkey and the world and to emphasize the role of public health nurses in health-improving cities and healthy city policies.

Keywords: Health, City, Health-Improving City/City, Healthy Cities Project, Public Health Nurse

Giriş

Çevremizle direk bağlantısı olan hem yerel hem de evrensel düzeyde olan sağlık, şehir yapısının kalitesi ve insan sağlığının esası niteliğindedir. Yoksulluk, eşitsizlik, kirlilik, işsizlik, toplumsal bağlılığın azlığı, konut ve diğer alanlardaki düşük kalite günümüz kentlerindeki problemlerin başında gelmektedir. Sağlık kavramı Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) Şartı'nda ‘‘Sağlık politikalarının sadece sağlıkla çalışan uzmanların alanı ile ilgili olmadığı, sağlığın sadece hastalığın olmaması durumu değil, sağlığın fiziksel, zihinsel ve sosyal esenlik hali olduğudur’’ şeklinde tanımlanmaktadır (Başaran, 2007).

Sağlıklı kent ‘‘Sağlıklı Kentler Projesi’’ ile ortaya çıkmış bir kavram olup ‘‘kentteki önemli değerleri yenilemek ve yeni mekânlar yaratmak’’, ‘‘kentlin ulaşımında, konut alanlarında, yeşil alanlarında yeni, iyi fiziksel alanlar oluşturmak’’, ‘‘sosyal bütünleşmeyi oluşturmak ve geliştirmek’’, ‘‘toplumun gelişmesine ortam sağlamak’’, ‘‘sağlık servislerine yüksek seviyeli ulaşılabilirliği sağlamak’’, ‘‘yaşama imkânının sağlanması, ailesinin korunması, arkadaşları ile görüşebilmesi, yeme-içme ihtiyacını sağlayabilmesi, güvenli ve özgür bir biçimde yaşama eylemlerini gerçekleştirmek’’ şeklinde birçok farklı bakış ve çalışma alanlarına göre tanımında değişiklik göstermektedir.

Sağlıklı kent kavramı tanımlarından da anlaşılacağı üzere her ülke, her kent hatta aynı kentte yaşayan kişilerce bile farklı anlamlara gelebilmektedir. Kent planlayıcılarını tekrar insanların sağlığını geliştirmeye odaklamayı amaçlamaktadır. Kısaca sağlıklı kent yaşanabilir bir kent kavramının anlattığı tüm öğeleri içermektedir. Sağlıklı kent kavramından anlaşılması gereken, belirli bir sağlık düzeyine ulaşmış kent değil, sağlıklı ve yaşanabilir bir kent yolunda gerekli yapısal değişiklikleri ve süreci başlatmış ve çalışmalarını bu yolda ilerleten kenttir (Başaran, 2007).

1. Sağlığı Geliştirme, Şehir/Kent ve Sağlık

DSÖ'ye göre sağlığı geliştirme; ‘‘insanların kendi sağlıkları üzerindeki kontrolünü artırmalarını sağlayarak sadece tedaviye odaklanmakla kalmayıp, hastalığın temel nedenlerini ele alarak ve önleyerek bireylerin sağlığına ve yaşam kalitesine fayda sağlamak ve korumak için tasarlanmış çok çeşitli sosyal ve çevresel müdahaleleri kapsamaktadır’’ (WHO, 2016). Sağlığın geliştirilmesi ve sağlığın korunması, sağlık sorunlarının çözümünde günümüzde kabul edilen en etkili yaklaşımlardan biridir (Göçmen ve Meydan-Acımış, 2017).

Kent ise ‘‘Kendi sınırları içinde yaşayan nüfusun geçim kaynaklarını tarım ve hayvancılık dışı uğraşların oluşturduğu, yönetim yapısı, toplumsal ilişkiler, kültürel alanlar, nüfus yoğunluğu gibi birçok yönden kırsal alanlardan farklı olan yerler’’ olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda tarihi, sosyal, kültürel, siyasi, ekonomik vb. özellikleri de bünyesinde barındıran kentler bu özelliğiyle sadece bir mekân olmanın ötesinde olan yerleşim yerleridirler (Smith, 2006)

DSÖ tarafından 1986'da Avrupa başlatılan ‘‘Sağlıklı Şehirler Projesi’’ ise kısa zamanda dünya çapında farklı ülkelere yayılan bir hareket olmuştur. Özellikle yerel yönetimlerin öncülüğünde geliştirilen ve uzun vadeli politikalarla ilerleyen bu proje, kentlerde yaşayan insanların psikolojik ve fiziksel iyilik hallerini, refah düzeylerini geliştirmeyi ve arttırmayı amaçlamaktadır (WHO, 2023).

DSÖ tarafından oluşturulan “Sağlıklı Şehirler Hareketi” zaman geçtikçe önem kazanan kent sağlığı ve ilişkili olarak şehirlerin daha yüksek yaşam kalitesi sunması, uzun vadede sürdürülebilirliği destekleyen bir eylemdir. Sağlıklı kentlerin olmasını ve bunun eşitlik temelli olmasını sağlayan bu hareket küresel bir nitelik taşımıştır (Gür, 2024).

2. Sağlıklı Kentler Projesi

2.1 Sağlıklı Kentler Hareketi

DSÖ Avrupa Bölge Ofisi, Sağlıklı Kentler Projesini “Herkes için Sağlık” prensiplerinin yerel seviyede uygulanmasını sağlayan bir araç olarak tanımlamaktadır. “Herkes için Sağlık” temeline oturtularak halk sağlığına yeni yaklaşımların uygulama yöntemiyle gösterildiği bu hareket, 1986 yılında Avrupa'da seçilen 11 kent ile başlamış ve kısa sürede kıtanın 30 ülkesinde oluşturulan ulusal ağlar ile 1400 kent ve kasabaya ulaşmıştır. Zaman içerisinde hareket daha da genişlemiş, Avrupa'da uygulanan stratejilerin kendi ortamlarına uyarlanmasıyla Avustralya, Kanada ve Amerika'da da bazı kentlere ulaşarak küresel bir hareket niteliği kazanmıştır (skpo.izmir.bel.tr).

“Herkes için sağlık” sloganıyla yola çıkan hareketin amaçları;

- Kentlerin sağlıklı, temiz ve güvenli bir yerleşim yeri yaratmak üzerine deneyimlerini paylaşarak tüm vatandaşların yaşamaktan mutlu olacakları bir çevre yaratmak,
- Eşitlik temelinden yola çıkarak din, dil, ırk, kültür, sınıf ve düşünce farkı gözetmeksizin eşit ve kaliteli bir yaşam ortamı sağlamak için sağlık, ulaşım, çevre gibi alanlarda ortak projeler geliştirmek, olarak sıralanabilir (skpo.izmir.bel.tr).

2.2 Sağlıklı Kentler Ağı

Sağlık reformu alanında 66 yıllık geçmişinde hep öncü rolünü üstlenen DSÖ, başından beri sağlığa hastalık temelli bireysel bir yaklaşımdan çok toplumsal temelli yaklaşımı benimsemiş; sağlığı bedensel, ruhsal ve sosyal yönden tam bir iyilik hali olarak değerlendirmiştir. 1977'de Cenevre'de yapılan Dünya Sağlık Asamblesi ile uluslararası toplumların herkes için sağlık konusunda mücadeleye davet edilmesinin ardından, örgüt Avrupa'da sağlık politikalarının oluşumunu tekrar incelemeye başlamış ve bu çalışmalar 1984 yılında 38 hedeflik, bölgesel “Herkes için Sağlık” stratejisinin uygulanmaya başlamasıyla sonuçlanmıştır.

Avrupa Bölgesinde uygulanan “Sağlıklı Kentler Projesi”, yoksulluk, şiddet, sosyal dışlanma, kirlilik, standardın altında barınma koşulları, orta ve genç yaştaki insanların karşılanamayan ihtiyaçları, evsiz insanlar ve göçmenler, sağlıksız yerleşim planlaması gibi sorunların çözülebilmemesinin yanı sıra eşitsizlik ve az olan toplum katılımı çalışmalarının artırılması gibi konularla sürdürülebilir bir gelişme ortamı sağlanması için bütünsel bir yaklaşımın ne kadar önemli olduğunu göstermektedir (skpo.izmir.bel.tr).

Katılımcı kentler, korunmasız grupların gereksinmelerine yönelik konuyla ilgili sektörler arası iş birliğine giderek, toplumsal gelişim inisiyatifleri ve programlarını baz alan, kent sağlık profilleri ve kent sağlık planları ve stratejilerini içeren geniş bir program ve ürün aralığını geliştirmekte ve uygulamaktadırlar (skpo.izmir.bel.tr).

“DSÖ Sağlıklı Kentler Projesi”, Avrupa ölçeğinde sağlığı, karar vericilerin gündeminde ön sıralara yerleştirmeyi ve “Herkes için Sağlık” stratejisinin prensipleri ve hedefleri

doğrultusunda, sağlıklı ve sürdürülebilir bir kalkınma için kapsamlı yerel stratejiler geliştirmeyi amaçlayan uzun dönemli uluslararası bir gelişim inisiyatifidir. “Sağlıklı Kentler Projesinin” ana hedefi, kentte yaşayan ve çalışan insanların fiziksel, zihinsel, sosyal ve çevresel gönenclerini arttırmaktır (skpo.izmir.bel.tr).

Beşer yıllık dönemlerle gelişen projenin dördüncü evresi 2008 yılında tamamlanarak 2009 yılından itibaren beşinci evresi (2009-2013) başlamıştır. Her dönemde sağlıklı kent olmayı hedefleyen kentler uluslararası bu ağa üye olarak, belirlenen ana temalar çerçevesinde sonuç odaklı çalışmalar gerçekleştirmektedir. “DSÖ Sağlıklı Kentler Ağına” üyelik resmi bir başvuru sürecini takip ederek tamamlanmaktadır. Beş yıllık dilimlere bölünmüş her aşamanın sonunda eski ağ dağıtılmakta ve bir sonraki aşama, oluşturulan yeni bir ağ ile devam etmektedir (skpo.izmir.bel.tr).

“Uluslararası Sağlıklı Kentler Ağına” üye olabilmek için DSÖ'nün ortaya koyduğu şartlar aşağıdaki gibidir:

- Politik Taahhüt
- Sağlıklı Kent Proje Ofisi'nin kurulması
- Kent Sağlık Profilinin çıkarılması
- Sağlıklı Kent Göstergelerinin belirlenmesi
- Kent Sağlık Gelişim Planı'nın hazırlanması (İlgar, 2023).

2.3 Türkiye Sağlıklı Kentler Birliği

Sağlıklı Kentler çalışmaları tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de “DSÖ Sağlıklı Kentler Ağı ve Türkiye Sağlıklı Kentler Birliği” aracılığıyla uluslararası ve ulusal ölçekte iki koldan devam etmektedir.

“Türkiye Sağlıklı Kentler Birliği”, Sağlıklı Şehirler Hareketinin ülkemizde gelişebilmesi, benimsenmesi, uygulanabilmesi amacıyla 10 kurucu belediyenin girişimiyle (Bursa, Yalova, Van, Kadıköy, Afyonkarahisar, Tepebaşı, Çankaya, Ürgüp, Ordu, Kırıkkale) 2 Aralık 2004 tarih ve 2004/8226 sayılı Bakanlar Kurulu kararıyla mahalli idareler birliği statüsünde kurulmuştur. (Faaliyet Raporu, 2023).

3 Şubat 2005 tarihinde kuruluş toplantısını gerçekleştirerek etkinliklerine başlayan “Türkiye Sağlıklı Kentler Birliğinin” amacı, kentlerin bilgi ve deneyimlerini paylaşarak tüm vatandaşların yaşamaktan mutluluk duyacakları sağlıklı kentler yaratmaktır (skpo.izmir.bel.tr).

Herkese eşit ve kaliteli bir yaşam sağlamak için sağlık, ulaşım, planlama, çevre, altyapı vb. konularda sorunlara kalıcı çözümler getirecek ortak projeler geliştirmek suretiyle 2020 yılı sonuna kadar Türkiye'de yaşayan insanların; sosyal, ekonomik, fiziksel, kültürel, eğitim açısından daha tatmin edici yaşam koşullarına sahip olması hedeflenmektedir. (İlgar, 2023)

“Türkiye Sağlıklı Kentler Birliği” üye Sayısı 2023 yılı itibariyle üye belediye sayısı 139'a ulaşmıştır (www.skb.gov.tr).

2.4 Sağlıklı Kentler Projesi

- Kentte yaşayan ve çalışan insanların fiziki, psikolojik ve çevresel refahlarını geliştirmeyi amaçlayan uzun dönemli bir kalkınma projesidir.

- Sağlıklı Kentler Projesi bir kentin ne olduğu ve sağlıklı kentin ne olması gerektiğinden yola çıkar.
- Yaklaşımına göre Kent; yaşayan, nefes alan, büyüyen, sürekli değişen bir iç dinamiğe sahip karmaşık bir organizmaya benzetilebilir.
- Sağlıklı kent çevresini geliştirebilen ve kaynaklarını genişletebilen bir kenttir.
- Sağlıklı kent kavramı bir sonuç değil, aynı zamanda bir yöntemdir.

Sağlıklı kent sadece belirli bir sağlık düzeyine ulaşmış kent değil, sağlık bilincine sahip ve onu geliştirmek için çaba harcayan kenttir. Nitekim herhangi bir kent var olan sağlık statüsüne bakılmaksızın sağlıklı kent olabilir; gerekli olan kararlılık ve başarıyı getirecek bir yapı ve işleyişe sahip olmaktır. (Başaran, 2007).

2.5 Sağlıklı Kentler Projesinin Amaçları

- Sağlıklı toplum politikalarını teşvik etmek,
- Destekleyici toplumsal çevreyi oluşturmak,
- Kaynakların doğru kullanımını sağlamak,
- Toplumun katılımını özendirme ve arttırmak,
- Bütünleşik kent sağlığı program ve planlarını hazırlamak,
- Ulusal ve uluslararası proje ortaklıkları oluşturmaktır (skpo.izmir.bel.tr).

2.6 Faz VII Temaları

Birleşmiş Milletler Dünya Sağlık Örgütü (WHO) sağlıklı kentler projesinin kavramsal altyapısının güncellenmesi, benimsenmesi ve gelişmesi amacıyla projeyi fazlar halinde ele alarak birinci fazı 1987-1992 yılları arasında başlatmış ve tamamlamıştır. Süreç günümüzde 2019-2025 yıllarını kapsayan 7. Faz içinde devam etmektedir. Bu faz içinde yapı kentlerin sağlığa ulaşmaları yolunda Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) için de çatı niteliği taşıyan bir yaklaşım benimsenmiş ve küresel ölçekte çalışmalar bu yönde devam etmektedir. İnsanlar, mekân, yerküre, barış, refah ve katılım kavramlarını betimleyen ve 6P yaklaşımı olarak da ifade edilen yaklaşım, 7. Faz içerisinde üye belediyeler için yol haritası niteliği de taşımakla birlikte, bu başlıklar altında çalışmalar yapmaları beklenmektedir. Bu bağlamda sağlıklı kentler ve tek sağlık hedefleri için 6P, küresel ölçekte son derece büyük bir önem taşımaktadır (Akarsu ve ark., 2024).

3. Sağlıklı Kentler Projesi Dünya'dan Örnekler

Fortaleza, Brezilya

Kentte Bisiklet Kullanımı

Fortaleza, Brezilya'da kardiyovasküler hastalıklar ölüm nedenlerinin %28'ini oluşturmakta olup, hareketsiz yaşam tarzı bu durumun başlıca sebeplerindedir. Kent yönetimi, fiziksel aktiviteyi artırarak bu sağlık sorunuyla mücadele etmeyi hedeflemiş ve bisiklet kullanımını teşvik etmeye yönelik bir pilot proje başlatmıştır. Bisikletlerin günlük ulaşımında kullanımı, yalnızca fiziksel aktiviteyi teşvik etmekle kalmayıp, aynı zamanda kentin hava kalitesini iyileştirmek için de etkili bir yöntem olarak görülmüştür. Bu amaçla, kentte mevcut olan 261 kilometrelik bisiklet yollarının kullanımını artırmak ve bu yolları daha güvenli hale getirmek üzere projeler başlatılmıştır. 2017 yılında başlatılan pilot proje, kentin çeşitli bölgelerinde 40 bisiklet ve 6 durak noktası ile hizmet vermeye başlamıştır. Bu proje, altı devlet dairesi ile yerel işletmelerin iş birliğiyle, "aktif ulaşımı" teşvik etmeye odaklanan Bicicletar Corporativo

programı kapsamında geliştirilmiştir. Projenin temel amacı, çalışanları bisiklet kullanmaya teşvik etmek, güvenli sürüş alışkanlıkları geliştirmek ve halk arasında bisikletle ulaşımın faydalarını artırmaktır.

Kent yönetimi, güvenliğin artırılması için bazı bölgelerde hız sınırlarını düşürmüş ve yaya ile bisiklet yollarında iyileştirmeler yapmıştır. Bununla birlikte, bisikletlerin kullanımını izlemek amacıyla veri toplayan GPS özellikli yeni bir “docksuz bisiklet sistemi” geliştirilmiştir. Bu yenilik, kullanıcıların bisikletleri daha kolay bulup kullanmasını sağlarken, proje etkinliğinin daha iyi analiz edilmesine de imkan tanımıştır. Projenin ilk beş ayında 500’den fazla kayıt alınmış ve 2000’den fazla bisiklet yolculuğu gerçekleştirilmiştir. Her gün ortalama olarak bisikletlerin yarısı kullanılmış, bu da projenin halk arasında hızla benimsendiğini göstermektedir (Akarsu ve ark., 2024, <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/encouraging-cycling-in-the-city-fortaleza-brazil>).

Uganda-Kenya

AIDS Yetimleri İçin Gelir Getirici Destek

Dünya genelinde 12,2 milyon AIDS yetimi bulunmakta ve bunların %83’ü Sahra Altı Afrika’da yaşamaktadır. Bu çocukların çoğu HIV+ olan tek anneleri tarafından büyütülmektedir ve yoksulluk nedeniyle temel eğitim ve hayat becerilerini kazanma fırsatından mahrum kalmaktadırlar. Uganda ve Kenya’da yürütülen bu proje, AIDS yetimlerine gelecekteki yaşamlarında daha iyi fırsatlar sunmayı amaçlamakta, HIV+ anneler için gelir sağlama (İGA) ve yaşam planlama programlarını içermektedir. 2016’dan beri 235 hanede 1.906 çocuğa ulaşılan projeye bu çocukların eğitimlerini sürdürmeleri, yaşam becerileri kazanmaları ve özgüven geliştirmeleri hedeflenmektedir. Proje, AIDS yetimlerinin içinde buldukları yoksulluk döngüsünü kırmak amacıyla Uganda’nın Luwero Bölgesi’nde HIV+ tek annelerin kendi kafe işletmelerini kurmaları için eğitim ve destek sağlama üzerine odaklanmaktadır. Bu kafe işletme projeleri, annelerin düzenli gelir elde etmelerine olanak tanırken çocukların okula gönderilmesi için gerekli finansal desteği sağlar. Aynı zamanda sağlık eğitimleri ve beslenme destekleri sunularak annelerin HIV durumlarını yönetmeleri desteklenmektedir.

Benzer şekilde, Kenya’nın Homa Bay Bölgesi’nde yürütülen yaşam planlama programı ile AIDS yetimleri, kariyer danışmanlığı alırken tarım alanında da bilgi sahibi olmaktadır. Bu uygulama, çocukların hem beslenmelerini iyileştirmekte hem de yeşillendirme faaliyetlerine katkı sağlamaktadır. Proje, sahada ihtiyaç analizine dayalı olarak yerel ortaklarla planlanmakta ve uygulanmaktadır. “ABCD Yaklaşımı” ile toplumun mevcut kaynakları değerlendirilmektedir; örneğin, annelerin yemek yapma becerilerinden faydalanılarak kafe işletmeciliği seçilmiştir. Programın ilk üç yılı sonunda Luwero’daki 29 haneden dokuzu kendi ayakları üzerinde durabilecek yeterli gelir ve teknik beceriye ulaşmıştır (Akarsu ve ark., 2024, <https://sdgs.un.org/partnerships/income-generating-activity-and-life-planning-programsupport-aids-orphans-contribute> <https://www.plas-aids.org/>).

Meksiko, Meksika

DSÖ Kentsel Yönetişim Girişimi

Meksiko, DSÖ’nün (WHO) ve “İsviçre Kalkınma ve İş birliği Ajansı’nın” desteğiyle başlatılan Kentsel Yönetişim ve Refah Girişimi’ne (UGHW) dahil olmuştur. Bu girişim, kentte yaşayanların sağlığını iyileştirmek ve toplumun refahını artırmak amacıyla katılımcı ve çok

sektörlü bir kentsel yönetim yaklaşımı benimsemektedir. Kentte 2020-2024 yıllarını kapsayan ilk aşama, Gustavo A. Madero (GAM) bölgesinde uygulanmış olup, ilerleyen süreçte Milpa Alta, Magdalena Contreras, Tláhuac ve İztacalco bölgelerine genişletilmiştir. Bu projeye, özellikle toplum katılımı aracılığıyla eşitlik ve etkinlik temelli politikalar geliştirilmesi hedeflenmektedir. Projenin ilk aşamasında, Gustavo A. Madero bölgesinde topluluk katılımını teşvik etmek amacıyla çeşitli etkinlikler düzenlenmiştir. Örneğin, toplumsal cinsiyete dayalı şiddetle mücadele kapsamında, bölgede mevcut kaynak ve kurumların haritalandırılması yapılmış, genç kent sanatçıların katılımıyla farkındalık oluşturma çalışmaları yürütülmüştür (Okyay ve ark., 2024, <https://www.who.int/initiatives/urban-governance-for-health-and-well-being/work-in-cities-mexico-city-mexico>).

Dortmund, Almanya

Çocuklar İçin İklim Dostu Beslenme

Dortmund, iklim ve sağlık alanında sürdürülebilir çözümler bulmak amacıyla gıda temin süreçlerini yenileyen bir projeye imza atmıştır. 2021’de başlatılan belediye iklim eylem planı çerçevesinde kentteki FABİDO çocuk bakım merkezlerinden başlayarak iklim dostu ve sağlıklı beslenme stratejileri benimsenmiştir. Dortmund’un 2030 yılına kadar tarımsal uygulamalar ve beslenme alışkanlıklarını değiştirerek yılda 200,000 ton CO2 tasarrufu sağlaması hedeflenmektedir. Bu projenin temel amacı, küçük yaştan itibaren çocuklara sağlıklı ve sorumlu bir beslenme alışkanlığı kazandırmaktır. Proje, Dortmund’un FABİDO programı kapsamında bulunan 100’e yakın çocuk bakım merkezine yönelik sürdürülebilir bir gıda stratejisi geliştirmektedir. Satın alma süreci, yerel ve organik ürünlerin tercih edilmesi ile gıda kilometrelerinin azaltılmasına yönelik olarak yeniden düzenlenmiştir. Kent, yerel üreticilerle çerçeve sözleşmeler imzalayarak FABİDO mutfaklarında kullanılan organik ürün oranını 2019’daki %10’dan 2023’te %35’e çıkarmayı başarmıştır (Okyay ve ark., 2024, <https://eurocities.eu/stories/dortmunds-shift-to-a-climate-friendly-diet-starts-with-kids-lunches/>).

4. Sağlıklı Kentler Projesi Türkiye’den Örnekler

Trabzon İli Gürültü Azaltım Senaryolarının Geliştirilmesi Projesi

23/05/2018 tarihinde Trabzon Büyükşehir Belediyesi ile TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi arasında “Trabzon İli Gürültü Azaltım Senaryolarının Geliştirilmesi Projesine” ilişkin sözleşme imzalanmıştır. Bu proje kapsamında, Trabzon ilinde stratejik gürültü haritaları hazırlanan yerleşim alanlarında karayolu, sanayi ve eğlence yerleri için çevresel gürültü açısından sıcak noktaların belirlenmesi ve gürültü azaltım senaryolarının geliştirileceği eylem planlarının hazırlanması amaçlanmıştır (Akarsu ve ark., 2020).

Trabzon Büyükşehir Belediyesi proje süresince çeşitli yayın türleri ve kitle iletişim araçlarını kullanarak eylem planları konusunda halkın bilgilendirilmesini sağlamıştır. Trabzon Büyükşehir Belediyesi tarafından gürültü eylem planları ile ilgili 18 yaş ve üzeri yaştaki yaklaşık 180 kişinin katıldığı bir anket çalışması yapılmıştır. Anket sonuçları Trabzon’un en önemli gürültü kaynağının %70 ile karayolu olduğunu göstermiştir. Ayrıca gürültü yönetimi alanlarında uygulanması düşünülen senaryolar hakkında da halkın görüşünün alındığı anket çalışması sonuçlarına göre uygulanması düşünülen senaryoların tümünün yüksek oranlarda desteklendiği tespit edilmiştir (Akarsu ve ark., 2020).

Çankaya Belediyesi

Yağmur Hasadı Projesi

Çankaya Belediyesi sürdürülebilir, geleceğe dokunan bir kent oluşturmak için kentsel ekoloji çalışmalarına yenilerini eklemektedir. Bu kapsamda yağmur hasadı ve su tutma yöntemlerini öğrenmek ve Belediye bünyesinde bu konuda çalışan yöneticilerin, tasarımcıların, uzmanların ve uygulayıcıların sürekliliğini sağlamak için AB ve sivil toplum kuruluşları ile iş birliği içerisinde proje hazırlanmıştır. Belediye, proje ortakları ile birlikte AB ve Türkiye Sivil Toplum Diyalogu-IV Çevre Hibe Programı kapsamında hibe almaya hak kazanmıştır. İklim değişikliği sürecinde Türkiye'nin karşı karşıya kalacağı öngörülen sorunların başında, yağış rejiminde değişiklik, kuraklıkta artış ve buna bağlı olarak su kaynaklarında azalma gelmektedir. Yağmur hasadı ile kentsel ve kırsal alanlarda yağmur suyu depolanarak farklı sektörlerin su ihtiyacı karşılanabilmektedir. Projenin ana hedefi kentlerin iklim değişikliği sürecinde uyum kapasitesini artırarak beklenen sıra dışı hava olaylarına direncini artırmaktır. Çankaya Belediyesi, Portekiz İnsani Dünya Derneği (AMH) ve Peyzaj Araştırmaları Derneği iş birliği ile yürütülen proje geleceğe dokunan bir kent oluşturmak için, kentsel ekoloji çalışmalarına başarılı bir örnek sunmaktadır. Proje kapsamında yağmur hasadı ve su tutma yöntemlerini öğrenmek, PAD ve Belediye bünyesinde bu konuda çalışan yöneticilerin, tasarımcıların, uzmanların ve uygulayıcıların sürekliliğini sağlamak için farkındalık temelinde hazırlanmış bir projedir. Yerel yönetimler ve sivil toplumların ortaklığını geliştiren proje ile halka ulaşan, paydaşlarını geniş kitlelere ulaştıran çıktılar elde edilmektedir (Torunoğlu ve ark., 2018).

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi

İzmit Körfezi Doğu Baseni Dip Çamurunun Temizlenmesi, Susuzlaştırılması ve Bertaraf İşleri

“Dip Çamuru Temizleme Projesinde” 2 Mayıs 2023 tarihinde dönemin “Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanı” Murat Kurum’un katılımıyla ilk çamur çekimi gerçekleştirilmiştir. Kasım 2024’te tamamlanması planlanan “İzmit Körfezi Dip Çamuru Temizleme Projesi 1. Etapı” kapsamında 125 hektarda 1 milyon 13 bin 150 metreküp çamurun temizlenmiş olacağı tahmin edilmektedir.

İhalesi gerçekleştirilen 2. Etap kapsamında ise 165 hektarlık alanda 1 milyon 100 bin metreküp çamurun temizlenmesi hedefleniyor (<https://www.kocaeli.bel.tr/proje/>).

5. Sağlıklı Kent Uygulamalarında Halk Sağlığı Hemşiresinin Rol ve Sorumlulukları

Hemşire sağlık ekibi içinde bireye/topluma en yakın ekip üyesi olduğundan, birey/toplumun ihtiyaçlarını bilen ve onları haksızlıklardan koruyabilecek en uygun kişidir (Ulmer, 2000). Hemşirelikte en erken dönemde savunuculuk kavramını Nightingale “çevresel faktörleri kontrol altına alarak bireye iyi bir ortam sunmadır” şeklinde tanımlamaktadır (Bu ve Jezewski, 2006). Hemşirelik hasta/sağlıklı ve her yaştaki birey, aile, grup ve toplumların, otonomi ve iş birliğine dayalı bakımını kapsar. Hemşirelik sağlığın geliştirilmesi, hastalıkların önlenmesi, hasta, engelli ve ölmekte olanların bakımı ile ilgilenir. Savunma, güvenli çevrenin geliştirilmesi, araştırma, sağlık politikalarının biçimlendirilmesi, hasta ve sağlık yönetimi ve eğitim temel hemşirelik rolleridir (ICN, 2014).

Eğitici rolü; hemşirenin birey, aile ve toplum sağlığını korumaya, geliştirmeye, hastalık durumunda iyileştirmeye ve uygun sağlık davranışı kazandırmaya yönelik planlı biçimde eğitim verme uygulamalarını kapsamaktadır (Açıkgöz ve Baykal, 2023).

Sağlığı geliştiren şehir politikalarının uygulanmasında da özellikle halk sağlığı hemşireleri; toplumun sağlıklı bir çevrede yaşaması için topluma sağlık eğitimi vererek eğitici rolünü, olumsuz çevresel koşulların iyileştirilmesi yönünde ilgili kurum ve kuruluşlarla toplum adına görüşerek savunuculuk rolünü kullanarak kilit pozisyonda yer almaktadırlar.

6. Sonuç

Kentleşmenin ortaya çıkardığı sorunların çözümünde sağlıklı kent uygulamaları bu sorunlara çözüm oluşturmaktadır. DSÖ tarafından başlatılan “Sağlıklı Şehirler Hareketi” ile zaman geçtikçe önem kazanan kent/şehir sağlığı ve ilişkili olarak şehirlerin daha yüksek yaşam kalitesi sunması, uzun vadede sürdürülebilirliği destekleyen bir eylemdir. Sağlıklı kentleri oluşturan, kentlerde yaşayanların sağlığını iyileştiren sağlıklı mekanlar, güvenli ve kapsayıcı olanaklar, yönetim, farkındalık ve eğitimin geliştirilmesi gibi sosyal boyutlar; demokratik, sağlıklı ve yaşam kalitesi yüksek “yaşanabilir” şehirleri yaratmakta, farklı paydaşlarla birlikte kentsel planlamada uygulanan kararlara dönüştüğü zaman yaşam kalitesini ve sürdürülebilirliği desteklenmektedir. Sağlığı geliştiren şehir politikalarının uygulanmasında da özellikle halk sağlığı hemşireleri; toplumun sağlıklı bir çevrede yaşaması için topluma sağlık eğitimi vererek eğitici rolünü, olumsuz çevresel koşulların iyileştirilmesi yönünde ilgili kurum ve kuruluşlarla toplum adına görüşerek savunuculuk rolünü kullanarak kilit pozisyonda yer almaktadırlar.

KAYNAKÇA

Neil Smith, “Yeni Küresellik, Yeni Şehircilik: Küresel Kentsel Strateji Olarak Soylulaştırma”, Çeviri: İlknur Urkun-Bowe, İbrahim Gündoğdu, Planlama Dergisi, TMMOB Kent Plancıları Odası Yayını, S.36, Ekim 2006, Ankara, s.16.

Gür, M., Sağlıklı Yaşam Ortamları için Bütünleşik Bir Yaklaşım: Öğrenen Sağlıklı Şehirler, Kent Akademisi Dergisi, 17(1):167-186

Göçmen, L., Meydan Acımiş, N. (2017). Dünden Günümüze Türkiye' de Sağlığın Geliştirilmesi Serüveni. Sağlık ve Toplum, 27(3), 14-19.

WHO. (2023). What is a healthy city? www.who.int/europe/groups/who-european-healthy-cities-network/what-is-a-health-city

WHO. (2016). What is health promotion? <https://www.who.int/features/qa/health-promotion/en/> adresinden erişildi.

Akarsu, F., Kerimi Bodur, A.S., Sönmez, M. D., Börü, P., Balatacı, T., Uslu, H. Ö. 2024. Geleceğin sağlıklı kentlerine dünyadan iyi uygulama örnekleri. Bursa: Türkiye Sağlıklı Kentler Birliği. ISBN: 978-625-95327-0-7

Başaran, İ. (2007). Sağlıklı kentler kavramının gelişiminde sağlıklı kentler projesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* , 9(3).

İlgar Doğan, Y. (2023). Kentsel Çevrede Fiziksel Aktivite ve Mekansal Planlama. Konya, Çizgi Kitabevi Yayınları.

Özkurt, D. D. N., , S. F. H., , D. S. ve , M. N. T. O. (Mayıs 2020). Trabzon ili gürültü azaltım senaryolarının geliştirilmesi. *Tübitak*.

Torunoğlu, D. E., Oğultürk, D. N., Köroğlu, D. T., Duman, N., Göymen, H. ve Tekin, E. (Nisan, 2018). Çankaya kent sağlık göstergeleri ve çankaya kent sağlık gelişim planı 2019-2023. *Çankaya Belediyesi*.

Ulmer, B. C. (2000). Professional advocacy. *AORN Journal*, 1-3.

Bu, X, Jezewski, MA. (2006). Developing a mid-range theory of patient advocacy through concept analysis. *JAN THEORETICAL PAPER*, Journal compilation _ 2006 Blackwell Publishing Ltd.

International Council of Nursing.ICN (2014) Definition of Nursing, Erişim: 22.3.2014, <http://www.icn.ch/about-icn/icndefinition-of-nursing/>.

Açıkgöz, G. ve Baykal, Ü. (2023). Hemşirelerin mesleki rolleri ve özerkliğini destekleyen yasal düzenlemeler. *İstanbul Kent University J Health Sciences*.

<https://eurocities.eu/stories/dortmunds-shift-to-a-climate-friendly-diet-starts-with-kids-lunches/> Erişim Tarihi: 18.12.2024

<https://www.who.int/initiatives/urban-governance-for-health-and-well-being/work-in-cities-mexico-city-mexico> Erişim Tarihi: 21.12.2024

<https://sdgs.un.org/partnerships/income-generating-activity-and-life-planning-program-support-aids-orphans-contribute> <https://www.plas-aids.org/> Erişim Tarihi: 22.12.2024

<https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/encouraging-cycling-in-the-city-fortaleza-brazil> Erişim Tarihi: 19.12.2024

www.skb.gov.tr Erişim Tarihi: 22.12.2024

<https://www.kocaeli.bel.tr/proje/izmit-korfezinde-85-milyon-ton-dip-camuru-temizleniyor-435.html> Erişim Tarihi:18.12.2024

<https://skpo.izmir.bel.tr/content.aspx?MID=11> Erişim Tarihi:22.12.2024

AYAK ÜLSERİ OLAN TIP 2 DİYABET HASTALARINDA BUERGER ALLEN EGZERSİZLERİNİN ALT EKSTREMİTE PERFÜZYONUNA VE YARA İYİLEŞMESİNE ETKİSİ: RANDOMİZE KONTROLLÜ ÇALIŞMANIN PROTOKOLÜ

Emine KAYA

Ankara Bilkent Şehir Hastanesi, kayaemine2626@gmail.com-0000-0002-6337-9551

Prof. Dr. Naile BİLGİLİ

Gazi Üniversitesi, nbilgili@gazi.edu.tr-0000-0002-7639-0303

ÖZET

Giriş: Diyabetli hastalarda ayak ülserlerinin önlenmesi ve tedavisi için yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır ve yapılan çalışmalar ayak egzersizlerinin kan dolaşımını artırarak yara iyileşmesine katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Amaç: Bu çalışma, Buerger Allen egzersizinin ayak yarası olan tip 2 diyabetli hastalarda alt ekstremitte perfüzyonu ve yara iyileşmesi üzerine etkisinin değerlendirilmesi amacıyla yapıldı.

Yöntem: Araştırma paralel grup, tek merkezli ön test-son test randomize kontrollü tasarım olarak gerçekleştirildi. Tip 2 diyabetli ayak yarası olan 72 hasta bir istatistik uzmanı tarafından blok randomizasyon yöntemi ile müdahale ve kontrol gruplarına eşit olarak atandı. Müdahale grubundaki hastalara Buerger Allen Egzersizi öğretilerek, bu egzersizi evlerinde 12 hafta boyunca yapmaları istendi. Egzersizlerin devamının sağlanması için bu grupta yer alan katılımcılara egzersiz günlüğü verildi ve her hafta hatırlatıcı telefon aramaları yapıldı. Kontrol grubunda yer alan hastalara ise egzersiz programı uygulanmadı, rutin takip ve tedavilerine devam ettiler. Veriler başlangıçta, 4. ve 12. haftalarda toplandı. Verilerin analizinde Brunner Langer, Mann Whitney U ve Friedman testleri kullanıldı.

Sonuçlar: Çalışma sonucunda, Buerger Allen egzersizinin katılımcıların ayak bileği kol indeksini artırmada ve yara iyileşmesinde etkili olduğu saptandı. Bu egzersizin evde ve klinikte takip edilen ayak ülseri olan tip 2 diyabetli hastalar için hemşirelik bakımının bir parçası olması ve hastalara bu egzersize yönelik bilgi ve beceri kazandırılması önerilmiştir.

Clinical Trials Kodu: NCT05747872.

Anahtar Kelimeler: Alt ekstremite perfüzyonu, Buerger Allen egzersizi, Diyabetik ayak, Hemşire, Hemşirelik bakımı.

THE EFFECT OF BUERGER ALLEN EXERCISES ON LOWER EXTREMITY PERFUSION AND WOUND HEALING AMONG TYPE 2 DIABETES MELLITUS PATIENTS WITH FOOT ULCER: STUDY PROTOCOL FOR A RANDOMISED CONTROLLED TRIAL

ABSTRACT

Background: New approaches are needed for the prevention and treatment of foot ulcers in patients with diabetes and studies have shown that foot exercises may contribute to wound healing by increasing blood circulation.

Purpose: This study was conducted to evaluate the effect of Buerger Allen exercise on lower extremity perfusion and wound healing in type 2 diabetic patients with foot wounds.

Methods: The study was carried out as a parallel group, single-centre pretest-posttest randomised controlled design. Seventy-two patients with type 2 diabetes mellitus and foot wounds were assigned equally to the intervention and control groups by a statistician using block randomisation method. Patients in the intervention group were taught the Buerger Allen Exercise and asked to perform this exercise at home for 12 weeks. In order to ensure the continuity of the exercises, participants in this group were given an exercise diary and reminder phone calls were made every week. Patients in the control group did not receive any exercise programme and continued their routine follow-up and treatment. Data were collected at baseline and at weeks 4 and 12. Brunner Langer, Mann Whitney U and Friedman tests were used to analyse the data.

Conclusion: As a result of the study, Buerger Allen exercise was found to be effective in increasing the ankle arm index and wound healing of the participants. It was recommended that this exercise should be a part of nursing care for type 2 diabetic patients with foot ulcers followed at home and in the clinic and that patients should gain knowledge and skills for this exercise.

Trial registration: Clinical Trials No: NCT05747872.

Keywords: Lower extremity perfusion, Buerger Allen exercise, Diabetic foot, Nurse, Nursing care.

1. GİRİŞ

Diyabetli hastalarda en sık görülen komplikasyonlardan biri diyabetik ayak ülserleri (DAÜ)'dir. DAÜ, tekrarlayan hastane yatışları ve amputasyon riski sebebiyle küresel olarak en önemli morbidite ve mortalite nedenlerindedir (Boulton, 2019; Jeffcoate vd., 2018; Jodheea-Jutton vd., 2022).

Diyabetik ayak ülserleri hastaya, sağlık sistemine ve genel olarak topluma önemli bir yük getirir. Ayak ülserleri hastaların ve sağlık çalışanlarının eğitimiyle büyük ölçüde önlenir. (Bus vd., 2023). Diyabetik ayak ülseri olan veya diyabetik ayak ülseri gelişimi açısından risk taşıyan hastalara uygulanabilecek girişimlerden birisi de egzersiz uygulamalarıdır. Bu hastalara eklem hareket açıklığı ve germe egzersizleri, denge egzersizleri, propriosepsiyon egzersizleri ve Buerger Allen egzersizi (BAE) gibi fiziksel aktiviteler uygulanmaktadır (Turan & Özkan, 2020).

Uluslararası Diyabetik Ayak Çalışma Grubu'nun en son güncellenen kılavuzlarında, ayak ülseri riski olan diyabet hastalarına egzersiz önerilerine de yer almaktadır (Bus vd., 2023). Hemşirelik müdahaleleri diyabetli hastalarda egzersizi teşvik etmek için önemli rol oynar (Eraydin & Avşar, 2018). Diyabet hastalarında egzersiz uygulamaları hakkında önemli çalışmalar yapılmıştır. Ancak ayak ülseri olan ya da ayak ülseri gelişme riski taşıyan hastalar için yapılan egzersiz çalışmaları sınırlıdır ve literatürde bu alanda yapılacak çalışmalara ihtiyaç olduğu belirtilmektedir (Aagaard vd., 2022; Brousseau-Foley vd., 2022; Digal, 2019; Trisnawati vd., 2020). Bu çalışma diyabetik ayak ülseri olan hastalarda Buerger Allen egzersizinin alt ekstremitte perfüzyonu ve yara iyileşmesine etkisinin bilinmesine, özellikle ayak ülseri gelişimi açısından risk taşıyan hastaların tedavi planlarında toplum sağlığı hemşireleri tarafından Buerger Allen egzersizine sağlığın korunması ve geliştirilmesi kapsamında yer verilmesine katkı sağlayabilir.

2. YÖNTEM

2.1. Tasarım

Bu araştırma tek merkezli ön test-son test randomize kontrollü tasarım olarak yapıldı. Araştırma CONSORT 2017 farmakolojik olmayan girişimleri değerlendiren uzantısına göre raporlandı. Ayrıca bu araştırmanın protokolü ClinicalTrials.gov (Trials Number: NCT05747872) adresine girilerek kayıt altına alındı.

2.2. Hipotezler

H₀1: Ayak ülseri olan tip 2 diyabetli hastalarda Buerger Allen egzersizini uygulayan müdahale grubu ile kontrol grubu arasında alt ekstremite perfüzyon seviyeleri yönünden fark yoktur.

H₀2: Ayak ülseri olan tip 2 diyabetli hastalarda Buerger Allen egzersizini uygulayan müdahale grubu ile kontrol grubu arasında yara boyutu yönünden fark yoktur.

2.3. Çalışma grubu

Çalışma grubunu Ankara'da bir kamu hastanesinin kronik yara ünitesine diyabetik ayak ülseri şikayeti ile başvuran tip 2 diyabetli 72 hasta oluşturdu. Kronik yara ünitesine ilk muayene veya kontrol randevusu amacıyla başvuran hastalarla iletişime geçilerek çalışma süreci anlatıldı. Hastalar dışlanma ve dahil edilme kriterlerine göre taranarak dahil edilme kriterlerini karşılayan hastaların onamları alındı.

2.3.1. Çalışma grubu dahil etme kriterleri

Çalışma kapsamına ayak yarası olan, 18 yaş ve üzeri tip 2 diyabet tanılı, iletişim ve mental sorunu olmayan, okur-yazar olan ve Türkçe konuşan, çalışmaya katılmaya gönüllü olan ve PEDİS sınıflandırmasına göre evre 1 ve evre 2 olan hastalar dahil edildi.

2.3.2. Çalışma grubu dışlama kriterleri

Çalışma kapsamına, demans ve psikiyatrik rahatsızlıkları olan, majör ampütasyon, böbrek yetmezliği ve hemodiyaliz gibi ciddi diyabet komplikasyonları olan, flep-greft onarımı yapılan, yara iyileşmesi için epidermal growth faktör, hiperbarik oksijen tedavisi ve negatif basınçlı yara tedavisi alan hastalar dahil edilmedi.

2.3.3. Çalışma grubu ve güç analizi

Örnekleme büyüklüğünü belirlemek için güç analizi yapıldı. G. Power 3.1 programı ile yapılan örneklem analizinde Chang ve diğerleri (2015) tarafından yapılan çalışma baz alınarak Buerger Allen egzersizlerinin alt ekstremite perfüzyonuna etkisinin büyüklüğü ($d=0,879$) olarak hesaplandı. Çift yönlü hipotez, %5 alfa hata ve %95 güç ile minimum gerekli örneklem sayısı her bir grup için 35 olmak üzere toplam gerekli örneklem sayısı 70 olarak hesaplandı.

2.3.4. Randomizasyon

Araştırmada blok randomizasyon yöntemi kullanıldı. Bağımsız bir istatistik uzmanı tarafından tüm deneklerin sayısı bloklara bölündü ve her blok içerisindeki hastalar müdahale ve kontrol gruplarına eşit olarak atanarak blok randomizasyon listesi oluşturuldu. Her bir blok içerisinde altı hastanın yer aldığı 12 blok oluşturuldu (72 hasta alındı). Araştırmacı randomizasyon listesine uygulama başlayana kadar kör kaldı, ön test sonrası deneğin dahil olacağı grup çalışmada doğrudan rolü olmayan üçüncü bir şahıs (klinik çalışanı) tarafından araştırmacıya bildirildi. Araştırmada saptama yanlılığını önlemek için çıktı ölçümleri kimin deney, kimin kontrol grubunda olduğunu bilmeyen araştırma dışından bir uzman tarafından yapıldı. Araştırma verileri Grup 1 ve Grup 2 şeklinde kodlandı ve araştırmacı dışında bir uzman tarafından veri girişleri yapıldı. Çalışmada verilerin analizi istatistik uzmanı tarafından yapılarak raporlandı. Araştırmanın verileri/çıktı ölçümleri, istatistik analiz ve raporlama açısından körleme yapılarak, ölçüm ve raporlama yanlılığının önlenmesi amaçlandı.

2.4. Verilerin Toplanması ve Veri Toplama Araçları

Araştırmada hasta seçimi Ankara'da bir kamu hastanesinin kronik yara ünitesinde Mart 2022 - Temmuz 2022 tarihleri arasında yapıldı. Randomizasyon öncesi veri toplama formu ve ön testler hastaların yazılı onamları alındıktan hemen sonra (T0) araştırmacı tarafından yüz yüze uygulandı. Ara ölçümler hastaların çalışmaya alınmalarının 4. haftasında (T1), son ölçümler ise 12. haftasında (T2) araştırmacı dışında çalışmadan bağımsız yara bakımı alanında uzman bir hemşire tarafından uygulandı.

Araştırma verilerinin toplanmasında, hastaların sosyo-demografik özelliklerine ve diyabet öyküsüne ilişkin 11 sorudan oluşan Hasta Bilgi Formu ve diyabetik ayağı duyu, dolaşım ve yara

açısından değerlendirmek amacıyla ilgili literatür doğrultusunda geliştirilen Diyabetik Ayak Değerlendirme Formu kullanıldı. Çalışmamızda alt ekstremitte perfüzyonunu değerlendirmek için ayak bileği kol indeksi (ABİ) ölçümü yapıldı. Yaranın üzerine şeffaf bir film konularak ve üzerine bir santimetrekarelik karelerle işaretlenmiş bir ızgara bulunan şeffaf bir asetat yerleştirilerek yara ölçümü yapıldı. Yara kenarları ince uçlu bir kalemle çizildi. Çizilen alan içerisinde kalan kareler sayılarak santimetrekare olarak yara yüzeyi ölçüldü. Yara ölçümü yara temizlendikten ve yara sınırları görüldükten sonra yapıldı. Hastaların egzersiz programına uyumunu artırmak için ilgili literatür ve bu alanda deneyimli üç uzmanın önerileri doğrultusunda egzersiz günlüğü hazırlandı.

2.5. Uygulama

2.5.1. Müdahale grubu

Araştırmaya katılan müdahale grubundaki hastalara Buerger Allen egzersizi araştırmacı tarafından birebir yaptırılarak öğretildi. Bu egzersiz üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada hasta sırt üstü uzanarak bacaklarını yastık kullanarak 45 derecelik açı oluşacak şekilde yükseltir. Bu pozisyonda cilt beyazlaşana kadar 1-3 dakika bekler. İkinci aşamada hasta yatak kenarına oturarak bacaklarını sarkıtır. Ayak bileğinin plantar fleksiyonu, dorsifleksiyonu, ayağın inversiyon ve eversiyonu ve ayak parmaklarının ekstansiyon ve fleksiyonunu içeren hareketleri 3 dakika boyunca yapar. Son aşamada ise hasta 5 dakika boyunca sırt üstü uzanarak üzerini battaniye ile örter. Bu egzersizlerin üçünü sırayla uygulamak bir seans anlamına gelir. Hastalardan her defasında en az üç seans olacak şekilde, günde iki kez 12 hafta boyunca bu egzersizleri yapmaları istendi. Hastaların egzersiz programına uyumunu artırmak ve egzersizleri günlük olarak düzenli ve atlamadan yapmalarını desteklemek amacıyla hazırlanan egzersiz günlüğü hastalara verildi. Bireylerin egzersize katılımı, hastalar kontrol için kliniğe geldiklerinde görüşülerek, egzersiz günlüğü kullanılarak ve haftalık telefon görüşmeleri yapılarak takip edildi.. Müdahale grubunda bulunan hastaların ABİ ve yara yüzeyi ölçümleri 4. ve 12. haftalarda hastaneye davet edilerek yapıldı.

2.5.2. Kontrol grubu

Kontrol grubundaki katılımcılar, ön test uygulanması ve randomizasyonun ardından 12 hafta boyunca klinikteki rutin takip ve tedavilerine devam etti. Bu gruba araştırmacı tarafından

doğrudan bir girişim yapılmadı. Kontrol grubunda bulunan hastaların da aynı şekilde başlangıçta, 4. ve 12. haftalarda hastanede ABİ ve yara yüzeyi ölçümleri yapıldı.

2.6. Verilerin Analizi

Verilerin değerlendirilmesi Statistical Package for Social Sciences (SPSS Version 23) paket programı ile yapıldı. Verilerin normal dağılıma uygunluğu istatistiksel ve grafiksel yöntemler ile incelendi. İkili gruplara göre normal dağılım verilerin karşılaştırılmasında Student T testi, normal dağılmayan verilerin karşılaştırılmasında Mann Whitney U testi kullanıldı. Normal dağılım göstermeyen tekrarlı ölçümlerin zamana bağlı olduğu durumda elde edilen longitudinal verilerin analizinde grup ve zaman etkileşiminin değerlendirilmesi için R programında (R software, version 4.3.1, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) Brunner Langer testinin “nparLD” paketi (F1-LD-F1 dizayn) kullanıldı (Noguchi vd., 2012). Grup ve zaman etkileşimi anlamlı bulunduğu gruplar tüm zaman noktalarında Mann Whitney U Testi ve Friedman Testi ile değerlendirildi. Zamana göre ölçüm değerlerindeki değişimi değerlendirmek için normal dağılıma uygun olmayan verilerde grup içinde Friedman Testi, gruplar arasında Mann Whitney U Testi kullanıldı. Çoklu karşılaştırmalar Bonferroni testi ile incelendi. Etki büyüklükleri ve güven aralıkları “rcompanion” paketinde hesaplandı (Mangiafico, 2023).

2.7. Araştırmanın etik boyutu

Çalışma öncesi etik komisyon onayı alındı (Araştırma Kod No: 2021-814). T.C. Sağlık Bakanlığında kurum izni alındı. Çalışmaya katılmayı kabul eden bireylerden aydınlatılmış onamları yazılı olarak alındı. Çalışmada son ölçümler tamamlandıktan sonra kontrol grubuna egzersiz programı öğretildi.

3.TARTIŞMA

Diyabetik ayak ülseri olan bireylerde fiziksel aktivite uygulamaları yeni bir çalışma alanıdır (Brousseau-Foley ve diğerleri, 2022). Diyabet hastalarında egzersiz müdahaleleri hakkında önemli araştırmalar yapılmış olsa da, ayak ülseri olan ya da ayak ülseri riski altında olan hastalar için egzersiz çalışmaları sınırlıdır ve literatürde bu alanda yapılacak çalışmalara ihtiyaç olduğu belirtilmektedir (Chang ve diğerleri, 2016; Chang, Chang ve Chen, 2015; Crews ve diğerleri, 2016; Liao ve diğerleri, 2019). Bu çalışma Buerger Allen egzersizinin alt ekstremitte perfüzyonu

ve yara iyileşmesine etkisinin bilinmesine, egzersizin etkinliğine ilişkin kanıt oluşturmaya ve diyabetik ayak ülserini önlemeye yönelik hemşirelik uygulamalarına yansıtılmasına katkı sağlayabilir.

Bu çalışmadan elde edilecek bilgiler özellikle ayak ülseri gelişimi açısından risk taşıyan hastaların tedavi planlarında Buerger Allen egzersizine sağlığın korunması ve geliştirilmesi kapsamında yer verilmesine yönelik uygun stratejiler geliştirmek için toplum sağlığı hemşireleri tarafından kullanılabilir. Literatürde Buerger Allen egzersizlerinin alt ekstremite perfüzyonu üzerindeki etkisini belirlemek için ABI ölçümünü kullanan çalışmalar mevcuttur. Ancak bu çalışmada Buerger Allen egzersizlerinin yara iyileşmesi üzerindeki etkisi de değerlendirilmiştir. Bu yönüyle diyabetik ayak yönetiminde hemşirelik uygulamalarına katkı sağlanmıştır.

3.1. Araştırmanın Güçlü Yanları ve Sınırlılıkları

Çalışma, randomize kontrollü tasarımda gerçekleştirildi. Çalışma sonucunda etki büyüklüğü ve güven aralığı verilerek müdahalenin etkisinin alt ve üst sınırları belirtildi. Çalışmamızda saptama, analiz ve raporlama yanlılığının önüne geçmek için çıktı ölçümleri, analiz ve raporlama açısından körleme yapıldı. Çalışma tek merkezde yürütüldü

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ayak ülserli tip 2 diyabet hastaları arasında Buerger Allen egzersizlerinin alt ekstremite perfüzyonuna ve yara iyileşmesine katkı sağladığı görüldü. Buerger Allen egzersizlerinin ayak ülseri gelişme riski olan tip 2 diyabet hastalarına proaktif yaklaşımla uygulanması, evde ve klinikte takip edilen ayak ülserli hastalara öğretilmesi önerilebilir.

KAYNAKÇA

Aagaard, T. V., Moeini, S., Skou, S. T., Madsen, U. R., & Brorson, S. (2022). Benefits and Harms of Exercise Therapy for Patients With Diabetic Foot Ulcers: A Systematic Review. *The International Journal of Lower Extremity Wounds*, 21(3), 219-233. <https://doi.org/10.1177/1534734620954066>

Boulton, A. J. (2019). The diabetic foot. *Medicine*, 47(2), 100-105.

Brousseau-Foley, M., Blanchette, V., Trudeau, F., & Houle, J. (2022). Physical Activity Participation in People With an Active Diabetic Foot Ulceration: A Scoping Review. *Canadian Journal of Diabetes*, 46(3), 313-327. <https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2021.07.002>

Bus, S. A., Sacco, I. C. N., Monteiro-Soares, M., Raspovic, A., Paton, J., Rasmussen, A., Lavery, L. A., & Van Netten, J. J. (2023). Guidelines on the prevention of foot ulcers in persons with diabetes (IWGDF 2023 update). *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, e3651. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3651>

Chang, C.-C., Chen, M.-Y., Shen, J.-H., Lin, Y. B., Hsu, W.-W., & Lin, B.-S. (2016). A quantitative real-time assessment of Buerger exercise on dorsal foot peripheral skin circulation

in patients with diabetes foot: *Medicine*, 95(46), e5334.
<https://doi.org/10.1097/MD.00000000000005334>

Chang, C.-F., Chang, C.-C., & Chen, M.-Y. (2015). Effect of Buerger's Exercises on Improving Peripheral Circulation: A Systematic Review. *Open Journal of Nursing*, 05(02), 120-128. <https://doi.org/10.4236/ojn.2015.52014>

Crews, R. T., Schneider, K. L., Yalla, S. V., Reeves, N. D., & Vileikyte, L. (2016). Physiological and psychological challenges of increasing physical activity and exercise in patients at risk of diabetic foot ulcers: A critical review. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 32(8), 791-804. <https://doi.org/10.1002/dmrr.2817>

Digal, P. E. (2019). Effect of Buerger Allen Exercise on Lower Extremity Perfusion Among Patients with Diabetes Mellitus. Randomized Clinical Trial. *Nursing Journal of India*, 110(5), 221-225.

Eraydın, Ş., & Avşar, G. (2018). The Effect of Foot Exercises on Wound Healing in Type 2 Diabetic Patients With a Foot Ulcer: A Randomized Control Study. *Journal of Wound, Ostomy and Continence Nursing*, 45(2), 123-130. <https://doi.org/10.1097/WON.0000000000000405>

Jeffcoate, W. J., Vileikyte, L., Boyko, E. J., Armstrong, D. G., & Boulton, A. J. M. (2018). Current Challenges and Opportunities in the Prevention and Management of Diabetic Foot Ulcers. *Diabetes Care*, 41(4), 645-652. <https://doi.org/10.2337/dc17-1836>

Jodheea-Jutton, A., Hindocha, S., & Bhaw-Luximon, A. (2022). Health economics of diabetic foot ulcer and recent trends to accelerate treatment. *The Foot*, 52, 101909. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2022.101909>

Liao, F., An, R., Pu, F., Burns, S., Shen, S., & Jan, Y.-K. (2019). Effect of Exercise on Risk Factors of Diabetic Foot Ulcers: A Systematic Review and Meta-Analysis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 98(2), 103-116. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001002>

Mangiafico, S. (2023). *rcompanion: Functions to support extension education program evaluation [R statistical package]* (2. 4. 34).

Noguchi, K., Gel, Y. R., Brunner, E., & Konietzschke, F. (2012). nparLD: An R Software Package for the Nonparametric Analysis of Longitudinal Data in Factorial Experiments. *Journal of Statistical Software*, 50(12). <https://doi.org/10.18637/jss.v050.i12>

Trisnawati, I., Sudiana, I. K., & Supriyanto, S. (2020). Effect of Leg Exercise on the Lower Limb Circulation of Patients with Diabetes Mellitus: A Systematic Review. *JURNAL NERS*, 15(2), 11.

Turan, Y., & Özkan, Y. (2020). Diyabetik Ayak Yarasının Tedavisinde Yeni Yardımcı Yöntemler; Fizik, Tedavi ve Rehabilitasyon. *Türkiye Klinikleri Ortopedi Travmatoloji - Özel Konular*, 13(1), 93-100.

DİSMENORE

Dr. Öğr. Üyesi Döndü BATKIN ERTÜRK

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Ebelik Bölümü,

E-posta Adresi: dнду.batkin@gop.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-7430-3130

Uzman Dr. Songül BATKIN

Aile Hekimliği Merzifon İlçe Sağlık Müdürlüğü,

E-posta Adresi: songulbatkin@hotmail.com

ORCID ID:0009-0000-9367-1337

ÖZET

Dismenore, menstruasyon sırasında oluşan ağrı olarak tanımlanmaktadır ve üreme çağındaki kadınlarda yaygın görülen bir şikayettir. Primer ve sekonder dismenore olarak sınıflandırılmaktadır. Primer dismenore, menstruasyon sırasında meydana gelen ve diğer hastalıklarla veya altta yatan patolojiyle ilişkili olmayan tekrarlayan alt karın ağrısıdır. Buna karşılık, sekonder dismenore endometriozis, myomlar, adenomyozis ve konjenital anatomik anormallikler vb. pelvik patolojiler veya enfeksiyonla ilişkili olabilir. Menarştan hemen sonra şiddetli dismenore veya giderek kötüleşen dismenore, anormal uterin kanama, infertilite, ampirik tedaviye yanıtızsızlık, ailede endometriozis öyküsü veya disparoni sekonder dismenore ile uyumlu semptomlardır. Üreme çağındaki kadınlarda dismenore prevalansı %16 ile %91 arasında değişmektedir ve kadınların %2-%29'unda şiddetli ağrı görülmektedir. Primer dismenore sekonder dismenoreye göre daha yaygın olup, sekonder dismenore vakalarının yalnızca %10'unu oluşturur. Primer dismenorenin risk faktörleri düşük BMI'yi, nullipariteyi, erken menarşı, ailede dismenore öyküsünü, sigara alışkanlığını, sedanter yaşam tarzını, depresyonu, stresi, anksiyeteyi, yüksek kafein tüketimini, yetersiz çoklu doymamış yağ asitleri alımını, periyodik veya kronik ağrı sendromlarının varlığını ve otoimmün bozuklukları içermektedir. Dismenore, yaş, doğum sayısı veya canlı doğum sayısı ve oral kontrasepsiyon kullanımıyla ters orantılıdır. Kas krampları, bulantı, kusma, baş ağrısı, baş dönmesi, sinirlilik, ishal, abdominal ağrı, bel ve bacak ağrısı, güçsüzlük, uyku bozukluğu dismenoreye sıklıkla eşlik eden semptomlardır. Dismenorenin sağlığa duygusal, psikolojik ve işlevsel yönden olumsuz etkileri gösterilmiştir. Konsantrasyon ve öğrenme yeteneğinde azalmaya, akademik ve iş performansında düşüşe, okul ve iş devamsızlığına, günlük aktivitelerde kısıtlamalara, özgüven kaybına, depresyon ve anksiyete riskinin artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla işte ve okulda üretkenliği, ekonomiyi ve yaşam kalitesini olumsuz etkiler. Bu sorunu yaşayan çoğu

kadın sağlık kuruluşlarına başvurmayıp bu sorunu etkili bir şekilde yonetememekte ve kendi kendine ilaç tedavisine başvurmaktadır. Primer dismenorenin nedenleri henüz tam olarak bilinmemekle birlikte en çok kabul goren nedenlerden biri, prostaglandinlerin sentezinin artmasıdır. Prostaglandinler uterus kasılmasını artırıp damarlarda vazokonstrüksiyona, bunun sonucunda da iskemiye sebep olarak ağrının ortaya çıkmasında ve seviyesinde rol oynarlar.

Farmakolojik ve non-farmakolojik yöntemler dismenore tedavisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Farmakolojik yöntemler dismenore yönetiminde uygulamasının kolay olması ve hızlı sonuç alınması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Nonsteroidal anti inflamatuvar ilaçlar ve hormonal kontraseptifler primer dismenore için birinci basamak tedavidir. Bununla birlikte son zamanlarda farmakolojik yöntemlere kıyasla yan etkilerinin daha az olması, kolay uygulanabilmesi ve düşük maliyetli olması nedeniyle non-farmakolojik yöntemlerin de yaygın olarak kullanılmaya başlaması dismenoresi olan ergen ve yetişkin kadınların bu yöntemler konusunda da bilgilendirilme gereksinimini ortaya koymaktadır. Non-farmakolojik yöntemlerin başlıcaları egzersiz, akupunktur, akupresür, TENS, ısı uygulaması, diyet ve vitaminlerdir. Hasta, ergen ise ailesi ve hekim arasında, tedavinin beklenen etkinliği, olası yan etkiler, kullanım kolaylığı ve hasta tercihlerini içeren ortak karar alma, başarılı tedavi ve uyumun anahtarı olacaktır.

Anahtar kelimeler: Dismenore, primer dismenore, sekonder dismenore, dismenore yönetimi

GİRİŞ

Dismenore, menstruasyon sırasında oluşan ağrı olarak tanımlanmaktadır ve üreme çağındaki kadınlarda yaygın görülen bir şikayettir (Nagy ve ark, 2023; McKenna & Fogleman, 2021). Üreme çağındaki kadınlarda dismenore prevalansı %16 ile %91 arasında değişmektedir ve kadınların %2-%29'unda şiddetli ağrı görülmektedir (Ju ve ark, 2014) . 21.573 genç kadını içeren otuz sekiz çalışmanın dahil edildiği meta-analizde dismenore prevalansı %71.1 bulunmuştur (Armour ve ark, 2019).

Dismenore, primer ve sekonder dismenore olarak sınıflandırılmaktadır. Primer dismenore, menstruasyon sırasında meydana gelen ve diğer hastalıklarla veya altta yatan patolojiyle ilişkili olmayan tekrarlayan, kramplı alt karın ağrısıdır (Nagy ve ark, 2023). Primer dismenore diğer bir deyişle pelvik patoloji olmadan ağrılı menstruasyon olarak tanımlanır (Kho & Shields, 2019). Sekonder dismenore endometriozis, myomlar, adenomyozis ve konjenital anatomik anormallikler vb. pelvik patolojiler veya enfeksiyonla ilişkili olabilir (Nagy ve ark, 2023). Bununla birlikte sekonder dismenorenin en sık saptanabilen nedeni endometriozistir (Armour ve ark, 2019). Primer dismenore sekonder dismenoreye göre daha yaygın olup, sekonder dismenore vakalarının yalnızca %10'unu oluşturur (McKenna & Fogleman, 2021).

Primer dismenore ovulasyon döngülerinin başlamasıyla, genellikle menarştan 6 ila 12 ay sonra başlar. Primer dismenore reproduktif yaş grubunda özellikle adölesanlarda çok sık karşılaşılan bir sorundur. Döngüsel ağrı menstruasyonun başlangıcından birkaç saat sonra başlar ve genellikle 8-72 saat içinde geçer. Ağrı yaygın olarak kramp tarzında, alt abdominal veya suprapubik bölgede, orta hattadır, sırtın alt veya uylukların üst kısmına yayılabilir (Kho & Shields, 2019; MacGregor ve ark, 2023; Nagy ve ark, 2023). Bulantı, kusma, baş ağrısı, baş dönmesi, sinirlilik, ishal, güçsüzlük, uyku bozukluğu dismenoreye sıklıkla eşlik eden semptomlardır (Francavilla ve ark, 2023). Semptomlar bir döngüden diğerine tutarlı ve öngörülebilirdir (MacGregor ve ark, 2023).

Sekonder dismenorede ağrının klinik özellikleri genellikle primer dismenore ile benzerdir. (Kho & Shields, 2019). Bununla birlikte menstrüel ağrı tek taraflı olabilir ve dismenoreye ek olarak hastalarda döngüsel olmayan kronik pelvik ağrı veya döngü ortasında ağrı gelişebilir. Sekonder dismenore ile başvuran hastalar tipik olarak ileri yaştadır (MacGregor ve ark, 2023). Menarştan hemen sonra şiddetli dismenore veya giderek kötüleşen dismenore, menstruasyon sona erdikten sonra devam eden ilerleyici kötüleşme veya ağrı, anormal uterin kanama, vajinal akıntı, infertilite, ampirik tedaviye yanıtızlık, ailede endometriozis öyküsü veya disparoni sekonder dismenore ile uyumlu semptomlardır (Nagy ve ark, 2023; Kho & Shields, 2019). Enfeksiyon belirtileri, anemi belirtileri ve anormal kanama gibi acil değerlendirme ve tedavi gerektiren belirtilerin sorgulanması önemlidir. (MacGregor ve ark, 2023).

DİSMENORENİN ETKİLERİ

Dismenore, bir kadının fiziksel, sosyal, psikolojik ve emosyonel iyilik hali üzerinde yaygın bir etkiye sahiptir ve yaşam kalitesi, kişisel ilişkiler, eğitim ve kariyer kazanımı üzerinde uzun süreli bozulmalara neden olur. Ayrıca, tedavi edilmeyen dismenore hiperaljeziye neden olabilir ve bu da kronik pelvik ağrıya yatkınlığı artırır. Dismenore şikayeti olan ergenlerin üçte biri

gastrointestinal rahatsızlık, baş ağrısı, yorgunluk, yetersiz uyku ve depresyon/anksiyete gibi komorbiditeler bildirmektedir (MacGregor ve ark, 2023). 33 çalışmayı içeren sistematik incelemede primer dismenore ile depresyon, anksiyete ve stresli ilişkili bozukluklar arasında pozitif ilişki olduğu gösterilmiştir (Bajalan ve ark, 2018). Depresyon veya anksiyete gibi psikolojik bozukluklar, ağrının bireyin sosyal ve mesleki işlevleri üzerindeki etkisini daha da kötüleştirebilir. Ayrıca, dismenore, artan dürtüsellikle ve ergenlerde intihar dışı kendine zarar verme riskinin artmasıyla ilişkilendirilmiştir (MacGregor ve ark, 2023). Dismenorenin okul performansını olumsuz etkilediği, başlıca görülen olumsuz etkilerin derslere odaklanamama, okuldan devamsızlık ve sınavları kaçırmak olduğu belirtilmektedir. Dismenoresi olan ergenler ayrıca aile ve arkadaşlarıyla gergin ilişkilerden de muzdariptir. Arkadaş grubunun duygusal destek için çok önemli olduğu bir zamanda, bu özellikle zararlı olabilir (Eryılmaz ve ark, 2010). Armour ve ark (2019) tarafından yapılan çalışmada genç kadınların %20.1'i dismenore nedeniyle okuldan veya üniversiteden devamsızlık yaptığını, %40.9'u sınıf performansının veya konsantrasyonunun olumsuz etkilendiğini, %37'si sosyal veya sportif aktiviteler vb. aktivitelerde azalma olduğunu bildirmiştir.

Dismenore, önemli olumsuz duygusal, psikolojik ve işlevsel sağlık etkileriyle ilişkilidir. Konsantrasyon ve öğrenme yeteneğinde azalmaya, akademik ve iş performansında düşüşe, kısa süreli okul ve iş devamsızlığına, günlük aktivitelerde kısıtlamalara, özgüven kaybına, depresyon ve anksiyete riskinin artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla işte ve okulda üretkenliği, ekonomiyi ve yaşam kalitesini olumsuz etkiler. Bu sorunu yaşayan çoğu kadın sağlık kuruluşlarına başvurmayıp bu sorunu etkili bir şekilde yönetememekte ve kendi kendine ilaç tedavisine başvurmaktadır (McKenna & Fogleman, 2021; Esan ve ark, 2024; Özşahin ve ark, 2022).

PATOFİZYOLOJİ

Primer dismenorenin patofizyolojisi tam aydınlatılamamış olmakla beraber menstruasyon döneminde artan prostaglandin (PG), özellikle prostaglandin F2 α (PGF2 α) ve prostaglandin E2 (PGE2) salınımı ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (Akduman & Budur, 2016; Sharghi ve ark, 2019). Ovulasyon sonrası korpus luteumun gerilemesi progesteron seviyesinin ani düşüşüne bu da endometriumdan araşidonik asit salınımına sebep olmaktadır. Açığa çıkan araşidonik asitten siklooksijenaz (COX) enzimi ile prostoglandinler sentezlenir (MacGregor ve ark, 2023). Prostoglandinler ise sinir uçlarında hassasiyeti artırmanın yanı sıra, uterus kasılmasını artırıp damarlarda vazokonstrüksiyona, bunun sonucunda da iskemiye sebep olarak ağrının ortaya çıkmasında ve seviyesinde rol oynarlar (Ferries-Rowe ve ark, 2020). İskemi sonucu ortaya çıkan anaerobik metabolitler de sinir uçlarında duyarlanmaya neden olarak ağrı oluşumuna neden olur (Bernardi ve ark, 2017; Iacovides ve ark, 2015). PG'lerin yanı sıra inflamatuvar süreçlerin, ağrının işlenme sürecindeki farklılıkların ve genetik etkenlerin de dismenorede etken olabileceği gösterilmiştir (MacGregor ve ark, 2023).

RİSK FAKTÖRLERİ

Primer dismenorenin risk faktörleri 30 yaşından küçük olmayı, düşük BMI'yı, nullipariteyi, erken menarşi, ailede dismenore öyküsünü, sigara alışkanlığını, cinsel istismarı, sedanter yaşam tarzını, depresyonu, stresi, anksiyeteyi, yüksek kafein tüketimini, yetersiz çoklu

doymamış yağ asitleri alımını, periyodik veya kronik ağrı sendromlarının varlığını ve otoimmün bozuklukları içermektedir (Francavilla ve ark, 2023; McKenna & Fogleman, 2021; Nagy ve ark, 2023). Dismenore, yaş, doğum sayısı veya canlı doğum sayısı, egzersiz ve oral kontrasepsiyon kullanımıyla ters orantılıdır (Ju ve ark, 2014). Dismenoreli 404 hasta üzerinde yapılan prospektif longitudinal çalışma, kadınların çoğunda menstruasyon yılları boyunca kalıcı semptomlar mevcut olsa da doğumdan sonra şiddetinde bir miktar iyileşme meydana geldiğini bildirmiştir (Weissman ve ark, 2004).

TANI

Değerlendirme tıbbi, jinekolojik, menstruasyon, aile ve cerrahi öyküsünü içermelidir. Benzer semptomların olduğu bir aile öyküsü endometriozisi ve pelvik cerrahi öyküsü yapışıklıkları düşündürülebilir (Nagy ve ark, 2023). Menstruasyon öyküsüne menarş yaşı, menstruasyon süresi, sıklığı, menstrual akış, mide bulantısı, ishal ve yorgunluk gibi ilişkili semptomlar, ağrının başlangıç zamanı, ağrının şiddeti, günlük yaşam aktiviteleri üzerindeki etkileri dahil edilmelidir (Kho & Shields, 2019).

Primer dismenore ile uyumlu semptomlarla başvuran hastalarda pelvik muayene gerekli değildir. Cinsel olarak aktif olan hastalarda gebelik ekarte edilmelidir. Sekonder dismenore ile uyumlu semptomlar bildirilirse, pelvik muayene tamamlanmalı ve anatomik anormallikler veya diğer patolojileri değerlendirmek için ultrasonografi yapılmalıdır (McKenna & Fogleman, 2021).

TEDAVİ

Dismenore Tedavisinde Önerilen Yaklaşım
Şüpheli Primer Dismenore için Ampirik Tedavi
Nosteroid Antiinflatuar İlaçlar <ul style="list-style-type: none">Örneğin, her 6 saatte bir 400-600 mg ibuprofen, maksimum günlük doz 2400 mgSemptomların veya menstruasyonun başlangıcında başlanır, döngünün 2. veya 3. gününe kadar devam edilir.
Hormonal Tedavi <p>Östrojen-progestin kombine kontraseptifleri</p> <ul style="list-style-type: none">Kombine oral kontraseptif hapların, vajinal halkanın veya transdermal yamanın döngüsel veya sürekli kullanımı <p>Sadece progestin içeren ilaçlar</p> <ul style="list-style-type: none">Levonorgestrel intrauterin araç, etonorgestrel implante edilebilir çubuk, oral progestinler (günlük 5 mg noretindrone)
Yardımcı/Ek Terapi <p>Egzersiz, ısı paketleri, transkutanöz elektriksel sinir stimülasyonu</p>



3-6 ayda yeniden değerlendirme	
Ampirik tedaviye olumlu yanıt	Ampirik tedaviye yetersiz yanıt
Mevcut tedavinin devamı	Sekonder dismenorenin değerlendirilmesi
Primer dismenore tanısı muhtemeldir.	Tedaviye uyumun değerlendirilmesi Pelvik muayene Pelvik ultrason Jinekoloğa sevk

Kaynak: Kho & Shields, 2019

1) Farmakolojik Tedaviler

Farmakolojik yöntemler dismenore yönetiminde uygulamasının kolay olması ve hızlı sonuç alınması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Nonsteroidal anti-inflammatory ilaçlar ve hormonal kontraseptifler primer dismenore için birinci basamak tedavi olarak kabul edilmektedir (Akduman & Budur, 2016; Esan ve ark, 2024; Ferries-Rowe ve ark, 2020; McKenna & Fogleman, 2021; Özşahin ve ark, 2022).

a) Nosteroid Antiinflatuar İlaçlar (NSAİİ): NSAİİ' ler siklooksijenaz (COX) enzimini inhibe ederek Prostaglandin (PG) üretimini azaltır ve bu şekilde ağrıyı engellerler. Aynı zamanda Santral Sinir Sistemi (SSS) üzerinde de ağrıyı inhibe edici etkiye sahiptir. NSAİİ' lerin, dismenorede plasebo ve parasetamoldan daha etkili olduğu gösterilmiştir (Marjoribanks ve ark, 2010). NSAİİ' lerden fenilpropiyonik asit genellikle ilk olarak, fenamat ise ikinci olarak tercih edilen ajanlardır (Akduman & Budur, 2016)

NSAİİ' lerin baş ağrısı, baş dönmesi, uyku hali, bulantı, hazımsızlık gibi yan etkileri bulunmakla birlikte bu yan etkiler genç hastalarda iyi tolere edilmektedir. NSAİİ' lerin gastrointestinal yan etkilerinin yanında kardiyovasküler, renal, hematolojik sistem başta olmak üzere tüm sistemler üzerinde yan etkileri olduğu bilinmektedir (Göktürk, 2017). Nonsteroidal anti-inflammatory ilaçlar farmakolojik tedavilerin ilk basamağı olarak önerilmekle birlikte uzun süreli NSAİİ alımının kardiyovasküler hastalık görülme riskini artırdığı yönünde ikna edici kanıtlar bulunmaktadır (Li ve ark, 2024). Bu nedenle uzun süreli kullanımda bu yan etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. COX 2 inhibisyonu yapan NSAİİ' ler ise ovulasyonu da geciktirme veya önleme etkisine sahiptirler ve bu etkileri nedeniyle infertil hastalarda önerilmezler (Norman & Wu, 2004).

b) Hormonal Kontraseptifler: Hormonal tedavilerin ağır menstruasyon kanaması, menstruasyon öncesi ruh hali, akne veya hirsutizm ve kemik mineral yoğunluğunun iyileştirilmesi ve endometriyal, over ve kolorektal kanser riskinin azalması gibi ikincil faydaları olabilir (Nagy ve ark, 2023).

Östrojen-Progestin İçeren Hormonal Kontraseptifler: Ovulasyonu baskılayarak ve endometriumda inceltme yaparak etkilerini gösterirler. Endometriumda inceltme sonucu PG oluşumu, kanama miktarı ve uterus kasılması azalır (Harada ve ark, 2011; Wong ve ark, 2009). Bu etkileri sayesinde kontraseptif ihtiyacının da olduğu durumlarda tercih edilebilirler. Ancak bu kontraseptifler içerdiği östrojen nedeniyle; baş ağrısı, bulantı, progesteron nedeniyle; kilo artışı, depresyon, akne gibi yan etkilerle birlikte venöz tromboembolizm gibi ciddi yan etkilere de sebep olabilmektedir (Wong ve ark, 2009).

Sadece Progesteron İçeren İlaçlar: Progesteron, endometriyal atrofiyi uyararak etki gösterir. Hormonal kontraseptif kullanımının kontrendike olduğu hastalarda tedavi alternatifi olabilir (Akduman & Budur, 2016). Levonorgestrel intrauterin aracın dismenoreyi azalttığı bildirilmiş olup kontraseptif ihtiyacı da olan dismenoreik hastalarda tercih edilebilmektedir (Bahamondes ve ark, 2007).

c) **Tokolitikler:** Dismenore tedavisinde etkinlikleri olmakla birlikte yan etkileri nedeniyle kullanımları sınırlıdır (Akduman & Budur, 2016).

2) Non-Farmakolojik Tedavi (Alternatif Tedaviler)

Son zamanlarda farmakolojik yöntemlere kıyasla yan etkilerinin daha az olması, kolay uygulanabilmesi ve düşük maliyetli olması nedeniyle non-farmakolojik yöntemlerin de yaygın olarak kullanılmaya başlaması dismenoresi olan ergen ve yetişkin kadınların bu yöntemler konusunda da bilgilendirilme gereksinimini ortaya koymaktadır. Non-farmakolojik yöntemlerin başlıcaları egzersiz, akupunktur, akupresür, TENS, ısı uygulaması, diyet ve vitaminlerdir (Akduman & Budur, 2016; Esan ve ark, 2024; Ferries-Rowe ve ark, 2020; McKenna & Fogleman, 2021; Özşahin ve ark, 2022).

a) **Akupunktur:** Dismenoredeki etkinliği kanıtlanmış olup medikal tedaviyi istemeyen hastalar için bir alternatiftir. Östradiol miktarını artırarak etki gösterir (Abaraogu & Tabansi-Ochuogu, 2015).

b) **Transkütanöz Elektriksel Sinir Stimulasyonu (TENS):** Cilde yapıştırılan elektrotlar aracılığıyla derideki yüzeysel sinir uçlarının elektriksel olarak uyarılmasına dayanan bir yöntemdir. Medikal tedaviye dirençli hastalarda tercih edilebilir (Akduman & Budur, 2016).

c) **Isı Uygulaması:** Dismenorede ısı uygulamasının ibuprofen kadar etkili olmasıyla birlikte asetaminofenden daha etkili olduğu da yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Akin ve ark, 2001; Akin ve ark, 2004).

d) **Egzersiz:** Cochrane incelemesi (2019), yoğunluktan bağımsız olarak haftada üç kez veya daha fazla, her seferinde yaklaşık 45 ila 60 dakika süreyle yapılan egzersizin menstrual ağrı yoğunluğunda klinik olarak anlamlı bir azalma sağlayabileceğini göstermektedir (Armour ve ark, 2019).

d) **Vitaminler:** Yapılan çalışmalar vitaminlerin anti-inflamatuvar, antioksidan ve analjezik özelliklerini desteklemektedir. D, E, B1, B6 vitamini ve balık yağının da dismenorede ağrının azaltılmasında etkili olduğu bildirilmiştir (Matsas ve ark, 2023; Ziaei, 2001; Ziaei, 2005; Proctor & Murphy, 2001).

e) **Beslenme Alışkanlıkları:** Karında kramplara neden olan yiyeceklerden kaçınma, sebze ağırlıklı ve yağdan fakir beslenme tarzı, araşidonik asitten fakir beslenme, süt ve süt ürünlerinin azaltılması, tuz ve şeker tüketiminin azaltılması ve lifli gıda tüketiminin artırılmasının menstruasyon ağrısını azaltmada etkili oldukları belirtilmiştir (Barnard ve ark, 2000; Hudson, 2007)

f) Masaj, aromaterapi, akupresör, Spinal Manüplasyon Terapisi gibi yöntemler de menstrüel ağrıda etkinliği gösterilmiş tamamlayıcı tedaviler arasındadır. Masaj dismenore üzerindeki etkisini kan akımını artırarak, kaslarda gevşeme yaparak ve endorfin salınımını artırarak gösterir (Apay ve ark, 2012). Dismenore de etkinliği gösterilmiş aromaterapi yöntemlerinden bir diğeri ise menstruasyondan bir hafta önce başlayıp adaçayı, gül yağı ve lavantadan oluşan yağ karışımı ile masaj yapılmasıdır (Kim ve ark, 2005). Akupresör; alt bacakta medial malleol üzerindeki bir noktaya bası yapılarak ağrının azaltılmasına dayanan bir yöntemdir (Potur &

Kömürcü, 2013). Spinal Manüplasyon Terapisi ise lumbosakral bölgeye bası yapılarak ağrı duyusunun algılanmasını azaltmaya dayanan bir yöntemdir (Holtzman ve ark, 2008).

Bunların yanı sıra meditasyon, derin nefes alma, yoga da dismenore üzerinde etkili olabilen ancak daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulan yöntemler arasındadır (Potur & Kömürcü, 2013).

Li ve ark. (2024) primer dismenoreyi tedavi etmede çeşitli non farmakolojik müdahalelerin faydalarını değerlendirmeyi amaçladıkları çalışmada sistematik inceleme sonuçları egzersiz, bitki, akupunktur, aromaterapi, transkutanöz elektriksel sinir stimülasyonu (TENS), topikal ısı, akupresür ve yoga müdahalesinin plaseboya veya tedavi olmamasına kıyasla menstrual ağrının azaltılmasında olumlu etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Aynı çalışmada ağrı meta analizi sonuçları egzersiz, akupunktur ve topikal ısının ağrı yoğunluğunu azalttığını göstermiştir. Boztaş Elverişli ve arkadaşları (2023) primer dismenoresi olan kadınlarda farmakolojik ve non-farmakolojik tedavilerin etkinliğini karşılaştırmak ve en etkili tedavi yöntemini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada non-farmakolojik yöntemlerin (motor imgeleme odaklı pelvik taban egzersizi ve akupresürün) farmakolojik yöntemler (naproxen sodium ve mikronize saflaştırılmış flavonoid fraksiyonu) kadar etkili olduğunu ve bu yöntemlerden en etkili olanının motor imgeleme odaklı pelvik taban egzersizi olduğu sonucuna varmıştır.

Sağlık hizmeti sağlayıcılarının hastaların deneyimlerini doğrulaması, uygun tetkikleri seçmesi, tanıyı zamanında teyit etmesi ve kanıta dayalı tedavi seçenekleri sunması önemlidir (MacGregor ve ark, 2023). Hasta, ergen ise ailesi ve hekim arasında, tedavinin beklenen etkinliği, olası yan etkiler, kullanım kolaylığı ve hasta tercihlerini içeren ortak karar alma, başarılı tedavi ve uyumun anahtarı olacaktır (Ferries-Rowe ve ark, 2020). Daha geniş bir tedavi seçeneği sunmak için faydalı, kolay uygulanabilir, maliyeti düşük, güvenli yeni alternatifler araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Barnard ND, Scialli AR, Hurlock D, Bertron P. Diet and sex-hormone binding globulin, dysmenorrhea, and premenstrual symptoms. *Obstet Gynecol* 2000; 95:245-250.
2. Abaraogu UO, Tabansi-Ochuogu CS. As acupressure decreases pain, acupuncture may improve some aspects of quality of life for women with primary dysmenorrhea: a systematic review with meta-analysis. *J Acupunct Meridian Stud.* 2015;8(5):220–8
3. Akduman A.T., Budur O.Ç. (2016). Primer Dismenorede Tedavi Yaklaşımları. *Anatolian Clinic*, 21(3): 235-240
4. Akin M, Price W, Rodriguez G Jr, Erasala G, Hurley G, Smith RP. Continuous, low-level, topical heat wrap therapy as compared to acetaminophen for primary dysmenorrhea. *J Reprod Med.* 2004;49(9):739–45
5. Akin MD, Weingand KW, Hengehold DA, Goodale MB, Hinkle RT, Smith RP. Continuous low-level topical heat in the treatment of dysmenorrhea. *Obstet Gynecol.* 2001;97(3):343–9.
6. Armour M, Parry K, Manohar N, Holmes K, Ferfolja T, Curry C, MacMillan F, Smith CA. The Prevalence and Academic Impact of Dysmenorrhea in 21,573 Young Women: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Womens Health (Larchmt).* 2019 Aug;28(8):1161-1171. doi: 10.1089/jwh.2018.7615.
7. Apay SE, Arslan S, Akpınar RE, Celebioglu A. Effect of aromatherapy massage on dysmenorrhea in Turkish students. *Pain Manag Nurs* 2012; 13:236-240
8. Bahamondes L, Petta CA, Fernandes A, Monteiro I. Use of the levonorgestrel-releasing intrauterine system in women with endometriosis, chronic pelvic pain and dysmenorrhea. *Contraception.* 2007;75(6 Suppl):S134–9.
9. Bajalan, Z., Moafi, F., MoradiBaglooei, M., & Alimoradi, Z. (2018). Mental health and primary dysmenorrhea: a systematic review. *Journal of Psychosomatic Obstetrics & Gynecology*, 40(3), 185–194. <https://doi.org/10.1080/0167482X.2018.1470619>
10. Bernardi M, Lazzeri L, Perelli F, Reis FM, Petraglia F. Dysmenorrhea and related disorders. *F1000Res.* 2017 Sep 5;6:1645. doi: 10.12688/f1000research.11682.1.
11. Boztaş Elverişli G, Armağan N, Atilgan E. Comparison of the efficacy of pharmacological and nonpharmacological treatments in women with primary dysmenorrhea: randomized controlled parallel-group study. *Ginekol Pol.* 2023;94(9):687-697. Doi: 10.5603/GP.a2022.0009
12. Eryilmaz G, Ozdemir F, Pasinlioglu T. Dysmenorrhea prevalence among adolescents in eastern Turkey: its effects on school performance and relationships with family and friends. *J Pediatr Adolesc Gynecol.* 2010 Oct;23(5):267-72. doi: 10.1016/j.jpag.2010.02.009. Epub 2010 May 21. PMID: 20493741.
13. Esan, D. T., Ariyo, S. A., Akinlolu, E. F., Akingbade, O., Olabisi, O. I., Olawade, D. B., ... & Ogunfowokan, A. A. (2024). Prevalence of dysmenorrhea and its effect on the quality of life of female undergraduate students in Nigeria. *Journal of Endometriosis and Uterine Disorders*, 5, 100059.

14. Ferries-Rowe E, Corey E, Archer JS. Primer Dismenore: Tanı ve Tedavi. *Obstet Gynecol* . 2020;136(5):1047–1058.
15. Francavilla, R., Petraroli, M., Messina, G., Stanyevic, B., Bellani, A. M., Esposito, S. M., & Street, M. E. (2023). Dysmenorrhea: Epidemiology, Causes and Current State of the Art for Treatment. *Clinical and Experimental Obstetrics & Gynecology*, 50(12), 274.
16. Göktürk, H. S. (2017). Non-steroidal anti-inflamatuvar ilaçlar, endikasyon, kontrendikasyon, endikasyonsuz kullanım, komplikasyonları önlemek için ne yapmalı. *Güncel gastroenteroloji*, 21(1), 31-37.
17. Harada T, Momoeda M, Terakawa N, Taketani Y, Hoshiai H. Evaluation of a low-dose oral contraceptive pill for primary dysmenorrhea: a placebo-controlled, double-blind, randomized trial. *Fertil Steril*. 2011;95(6):1928–31.
18. Hudson T. Using nutrition to relieve primary dysmenorrhea. *Alternative and Complementary Therapie* 2007;13:125-128.
19. Iacovides S, Avidon I, Baker FC. What we know about primary dysmenorrhea today: a critical review. *Hum Reprod Update*. 2015 Nov-Dec;21(6):762-78. doi: 10.1093/humupd/dmv039.
20. Ju H, Jones M, Mishra G. The prevalence and risk factors of dysmenorrhea. *Epidemiol Rev*. 2014;36:104-13.
21. Kho, K. A., & Shields, J. K. (2020). Diagnosis and management of primary dysmenorrhea. *Jama*, 323(3), 268-269.
22. Kim JS, Yo YJ, Hwang SK. The effects of abdominal meridian massage on menstrual cramps and dysmenorrhea in full-time employed women. *Taehan Kanho Hakhoe Chi* 2005; 35:1325-1332.
23. Li, X., Hao, X., Liu, J. H., & Huang, J. P. (2024). Efficacy of non-pharmacological interventions for primary dysmenorrhoea: a systematic review and Bayesian network meta-analysis. *BMJ Evidence-Based Medicine*, 29(3), 162-170. <https://doi.org/10.1136/bmjebm-2023-112434>
24. MacGregor, B., Allaire, C., Bedaiwy, M. A., Yong, P. J., & Bougie, O. (2023). Disease burden of dysmenorrhea: Impact on life course potential. *International journal of women's health*, 499-509.
25. McKenna, K. A., & Fogleman, C. D. (2021). Dysmenorrhea. *American family physician*, 104(2), 164-170).
26. Marjoribanks J, Proctor M, Farquhar C, Derks RS. Nonsteroidal anti-inflammatory drugs for dysmenorrhoea. *Cochrane Database Syst Rev*. 2010 Jan 20;(1):CD001751. doi: 10.1002/14651858.CD001751.pub2.
27. Matsas, A., Sachinidis, A., Lamprinou, M., Stamoula, E., & Christopoulos, P. (2023). Vitamin Effects in Primary Dysmenorrhea. *Life*, 13(6), 1308. <https://doi.org/10.3390/life13061308>
28. Nagy, H., Carlson, K., & Khan, M. A. (2023). In StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing.
29. Norman RJ, Wu R. The potential danger of COX-2 inhibitors. *Fertil Steril*. 2004;81(3):493–4.
30. Özşahin, Z., Santur, S. G., & Ay, Ç. K. (2022). Dismenore şiddeti, sıklığı ve yönetiminde tercih edilen nonfarmakolojik yöntemlerin belirlenmesi. *Turkish Journal of Family Medicine and Primary Care*, 16(1), 171-178.

31. Potur, D. C., & Kömürçü, N. (2013). Dismenore yönetiminde tamamlayıcı tedaviler. *Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi*, 10(1), 8-13.
32. Proctor ML, Murphy PA. Herbal and dietary therapies for primary and secondary dysmenorrhoea. *Cochrane Database Syst Rev*. 2001;(3):CD002124 [update in *Cochrane Database Syst Rev* 2016;3:CD002124].
33. Sharghi, M., Mansurkhani, S. M., Larky, D. A., Kooti, W., Niksefat, M., Firoozbakht, M., ... & Jouybari, L. (2019). An update and systematic review on the treatment of primary dysmenorrhea. *JBRA assisted reproduction*, 23(1), 51.
34. Weissman AM, Hartz AJ, Hansen MD, et al. The natural history of primary dysmenorrhoea: a longitudinal study. *BJOG*. 2004;111(4):345-352.
35. Wong CL, Farquhar C, Roberts H, Proctor M. Oral contraceptive pill for primary dysmenorrhoea. *Cochrane Database Syst Rev*. 2009;(4):CD002120.
36. Ziaei S, Faghihzadeh S, Sohrabvand F, Lamyian M, Emamgholy T. A randomised placebo-controlled trial to determine the effect of vitamin E in treatment of primary dysmenorrhoea. *BJOG*. 2001;108(11):1181–3.
37. Ziaei S, Zakeri M, Kazemnejad A. A randomised controlled trial of vitamin E in the treatment of primary dysmenorrhoea. *BJOG*. 2005;112(4):466–9.

ÇOCUKLUK ÇAĞINDAKİ EPİLEPSİ YÖNETİMİNDE PEDIATRİ HEMŞİRESİNİN ROLÜ

Arş. Gör. Sinem BAŞDEMİR

İzmir Bakırçay Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Bölümü,
sinem.basdemir@bakircay.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-8401-1625

Doç. Dr. Şeyda BİNAY YAZ

İzmir Bakırçay Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Bölümü,
seyda.binay@bakircay.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-6410-6240

Doç. Dr. İlknur BEKTAŞ

İzmir Bakırçay Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Bölümü,
ilknur.bektas@bakircay.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8048-9501

ÖZET

Epilepsi, çocukluk çağında görülen en yaygın nörolojik bozukluklardan biridir. Pediatrik epileptik nöbet yönetimi ve mevcut tedavisi; sağlık sonuçlarını iyileştirmede, çocukların ve ebeveynlerinin yaşam kalitesini artırmada, eğitim, sosyal ve psikolojik sorunları yönetmede etkilidir. Epilepsi yönetiminde, epilepsi hastalığı olan çocuk ve ailesi ile çalışan pediatri hemşirelerine; eğitici, savunucu, karar verici, danışmanlık rolleri doğrultusunda önemli sorumluluklar düşmektedir. Pediatri hemşirelerinin klinik bakımda epilepsiye özgü hemşirelik bakımı, nöbet yönetimi, tedaviye uyum, psikososyal destek gibi konularda çocuk ve ebeveynleri bilgilendirme, cesaret ve anlayış sağlama yoluyla bütüncül bakım sağlamak gibi önemli rolleri vardır. Ayrıca pediatri hemşireleri, epilepsinin ve nöbetlerin hastane dışında yönetiminde de önemli rol oynarlar. Bu doğrultuda literatür incelemesinde, epilepsi hastalığı olan çocukların hastalık yönetiminde pediatri hemşiresinin rolleri ve hemşirelik yaklaşımının önemini vurgulamak amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Çocuk, Epilepsi, Hemşirelik

THE ROLE OF THE PEDIATRIC NURSE IN THE MANAGEMENT OF CHILDHOOD EPILEPSY

Research Assistant Sinem BAŞDEMİR

Izmir Bakırçay University Faculty of Health Science Nursing Department,
sinem.basdemir@bakircay.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-8401-1625

Associate Professor Şeyda BİNAY YAZ

Izmir Bakırçay University Faculty of Health Science Nursing Department,
seyda.binay@bakircay.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-6410-6240

Associate Professor İlknur BEKTAŞ

Izmir Bakırçay University Faculty of Health Science Nursing Department,
ilknur.bektas@bakircay.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8048-9501

ABSTRACT

Epilepsy is one of the most common neurological disorders in childhood. Pediatric epileptic seizure management and current treatment are effective in improving health outcomes, increasing the quality of life of children and their parents, and managing educational, social, and psychological problems. Pediatric nurses who work with children with epilepsy and their families have important responsibilities in terms of their roles as educators, advocates, decision-makers, and consultants in epilepsy management. Pediatric nurses have important roles in clinical care such as providing holistic care by informing children and parents about issues such as epilepsy-specific nursing care, seizure management, treatment compliance, and psychosocial support. Pediatric nurses also play an important role in the management of epilepsy and seizures outside the hospital. In this context, the literature review aims to emphasize the roles of pediatric nurses and the importance of the nursing approach in the disease management of children with epilepsy.

Key word : Child, Epilepsy, Nursing

1. GİRİŞ

Epilepsi, çocukluk çağında görülen en yaygın nörolojik bozukluklardan biridir. Pediatrik epileptik nöbet yönetimi ve mevcut tedavisi, sağlık sonuçlarını iyileştirmektedir. Bunun yanı sıra pediatrik hastaların ve ebeveynlerinin yaşam kalitesini artırmada, eğitim, sosyal ve psikolojik sorunları yönetmede etkilidir. Bu doğrultuda, birçok ülkede, bu hizmetlerin temel bir bileşenini oluşturan pediatrik epilepsi hemşireliği, toplum temelli epilepsi hemşireliği, nörobilim hemşireliği, epilepsi uzmanı hemşire gibi rol tanımlamalarına gidilmiş olup özel uzmanlık alanı içeren bir hizmet geliştirilmiştir (Hutchinson vd., 2023; Institute of Medicine, 2012; Locatelli vd. 2021; Mammas ve Spandidos, 2020; NICE Guideline, 2017). Epilepsili çocukların bakımına önemli bir katkı sağlayan pediatrik epilepsi hemşireliğinin misyonu, epilepsili çocukların ve ailelerinin mümkün olduğunca normal bir hayat yaşamasını sağlamak, çocuğa bakım veren herkesin çocuğun epilepsisi konusunda eğitimini sağlamak, çocuğun güvenliğini sağlamak ve topluma entegrasyonunu teşvik etmektir (Mammas ve Spandidos, 2020). Pediatrik epilepsi uzman hemşireleri, epilepsili çocuklar ve gençler için uzman bakım ve yönetim sağlar. National Institute for Health and Care Excellence (NICE) yönergelerine göre; epilepsili tüm çocukların ve gençlerin bir epilepsi uzman hemşiresine erişebilmesi gerekmektedir (NICE Guideline, 2017). Pediatrik epilepsi uzman hemşirelerine erişim acil pediatrik epilepsi yatışlarında azalma, epilepsili çocuklar ve gençleri için bilgi, öz bakım ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesi, kurumlar arasında bakımın sürekliliğini destekler. Ayrıca hem uzun vadede hem de bakımın ilk yılında maliyet tasarrufu sağladığı bildirilmiştir (NICE Guideline, 2017). Epilepsinin hemşirelik alanında bir uzmanlık alanı olarak yönetimine ihtiyaç duyulmaktadır. Pediatrik epilepsi hemşireliği, henüz Türkiye’de uzmanlık alanı olarak bulunmamaktadır.

2. ÇOCUKLUK ÇAĞINDAKİ EPİLEPSİ YÖNETİMİNDE PEDIATRİ HEMŞİRESİNİN ROLÜ VE HEMŞİRELİK YAKLAŞIMI

Epilepsi yönetiminde pediatri hemşireleri, hasta çocuk ve ailesi için çocuk ve aile merkezli, ayrıca bütüncül bakımı teşvik etmede öncüdür. Bu süreçte epilepsi hastalığı olan çocuk ve ailesi ile çalışan pediatri hemşirelerine eğitici, savunucu, karar verici, danışmanlık rolleri doğrultusunda önemli sorumluluklar düşmektedir. Pediatri hemşirelerinin klinik bakımda antiepileptik ilaç kullanımı, ilaçların etkileri, yan etkileri ve nöbet yönetimi için dikkat edilmesi gereken hususlara ilişkin çocuk ve ebeveynleri bilgilendirme, çocukların ilaca uyumunu izleme, epilepsiye özgü hemşirelik bakımı ve bireysel sağlık gereksinimlerine yönelik destek sağlama, psikososyal refahı desteklemek için çocuk ve ailelerine cesaret ve anlayış sağlamak, bütüncül bakım ve bakımın koordinasyonunu sağlamak için kişileri kuruluşlara ve farklı uzmanlara yönlendirmek gibi rolleri vardır. Ayrıca bakımı, hastane birimlerinin ve kliniklerin ötesine taşımada, okul döneminde epilepsinin ve nöbetlerin yönetiminde önemli rol oynarlar. Bu doğrultuda hemşirelik yaklaşımları, çocuğun okul öncesinden okula geçiş sürecinin iyi yönetilebilmesi için epilepsinin genel yönleri, nöbet yönetimi, öğrenme/davranış üzerindeki etkileri konusunda ebeveynlere eğitim ve bilgi sağlama, terapötik desteklere erişimde profesyonel destek sağlama, çocukların ihtiyaçları konusunda okul ve okul personeli ile tıbbi/terapötik profesyoneller arasında iletişimi sağlama, okul personeline epileptik nöbet

yönetimi konusunda eğitim ve rehberlik sağlama, çocukların öğrenmesi, davranışı ve duygularıyla ilgili olarak değerlendirme ve terapötik destek sağlamak olarak sıralanabilir (Johnson vd.,2021).

Çocukluk çağı epilepsi yönetiminde pediatri hemşiresinin rolü bütüncül bakım ilkesine dayanır. Yaşam tarzı ve psikososyal sorunları içeren kapsamlı bir değerlendirme ve bakım sürecinin parçası olarak hastanın hayatının tüm yönlerini dikkate alır. Tanı ve tedaviye yardımcı olur. Klinik, sosyal ve güvenlik yönleriyle ilgili bilgi, eğitim ve destek sağlar (Locatelli vd., 2021; Malky vd., 2016). Epilepsili çocuk ve ergenlerin bakım verenlerine yönelik eğitim süreçlerinin, bireyin, ailenin, sosyal ve kültürel çevrenin özel gereksinimleri dikkate alınarak oluşturulması gerekir. Verilen eğitimler, hastalara ve bakım verenlere epilepsiyi başarılı bir şekilde yönetebilmeleri için destek sağlar. Özerkliklerini ve kendi kendilerini yönetmelerini kolaylaştırarak epilepsili çocuklara ve ebeveynlerine güç verir, yaşam kalitelerini yükseltir. Multidisipliner bir ekip ile hastaları yaşamları boyunca takip ederek birincil ve ikincil bakım, hastane ve ev, okul veya iş ve sağlık sağlayıcıları arasında bağlantı görevi görerek bakımın sürekliliğini sağlar (Campiño-Valderrama vd., 2024; Locatelli vd., 2021). Pediatri hemşireleri liderlik becerilerine sahiptir ve hizmetleri, politikaları ve yönergeleri gözden geçirerek ve bunlarda iyileştirmeler önererek ve yeni standartlar geliştirerek örgütsel bir etki yaratabilirler. Bunun için hizmet içi eğitim, kurs, sempozyum ve kongrelere katılarak bilgilerini sürekli güncelleyerek geliştirir. Kanıta dayalı uygulamaları bakımda kullanır, meslektaşları arasında yayılmasına katkıda bulunur ve araştırma projelerine katılır (Ünalp vd., 2020; Locatelli vd., 2021).

2.1. Epilepsili Çocuklar için Pediatrik Bakımdan Yetişkin Bakıma Geçişte Pediatri Hemşiresinin Rolü

Pediatrik bakımdan yetişkin bakıma geçişte kesintisiz ve yeterli bakım sağlanmalıdır. İyi tasarlanmış, multidisipliner geçiş programları yalnızca nöbet kontrolünü değil aynı zamanda epilepsiyle sıklıkla birlikte görülen psikososyal sorunları da ele almalıdır. Geçiş erken başlamalı, engellilik düzeyine göre uyarlanmalıdır. Geçiş kavramı 12-15 yaşlarında tanıtılmalıdır. Hastaların özbakım ve karar verme becerilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Uygun bir geçiş için çocukların ve ebeveynlerin fiziksel ve psikolojik hazırlığı son derece önemlidir. Bunun için 16-17 yaşlarında gençlerin ve ebeveynlere epilepsi geçiş hazırlığı kontrol listeleri uygulanarak geçiş hazırlıkları değerlendirmelidir. (Andrade et al., 2017; Kızıler ve Yıldız, 2024). NICE yönergesinde yer alan standartlara göre; epilepsisi olan tüm çocuklarda eş zamanlı olarak koşullar da dikkate alınarak geçişi başlatmak ve planlamaktan sorumlu belirlenmiş bir çalışan bulunmalıdır. Bu sorumlu pediatri hemşiresi olabilir. Geçişte çocukların psikolojik durum, bilişsel yetenekler, olgunluk, sosyal ve kişisel koşullar, uzun vadeli koşullardaki ihtiyaçları, bakım sorumlulukları, iletişim ihtiyaçları göz önünde bulundurulmalıdır (NICE Guideline, 2017). Epilepsili adölesanlarda başarısız geçiş için risk faktörleri (tedaviye uyumda zorlanma, araba kullanma, nöbetler, gebelik riski, depresyon, anksiyete vb.) belirlenmeli ve ele alınmalıdır. Epilepsi tanısı yeniden değerlendirilmesi için gerekli yönlendirmeler yapılmalıdır. Pediatri taburcu paketi 17-18 yaşlarında hazırlanmalıdır. Bu paket geçiş hazırlığı anketleri, psikososyal tarama sonuçları, epilepsi öykü formu, nöbet acil

durum planı, bakım hedefleri, yönlendirme listesi, topluluk, sosyal ve finansal destek için gerekli yönlendirmeleri sağlayan belgeleri içermelidir. Pediatrik sağlık hizmetlerinden yetişkin sağlık hizmetlerine geçiş, epilepsili hastalar için zorlu bir süreçtir. Ancak multidisipliner bir ekiple sağlanan geçiş programları, epilepsili ergenlerdeki birçok sorunu yönetmede etkili olabilir (Andrade vd., 2017).

3. SONUÇ

Pediatri hemşireleri epilepsili çocuklar, gençler ve bakım verenleri ile en sık karşılaşan sağlık profesyoneli olduğundan bireyin, ailesinin, sosyal ve kültürel çevresinin özel ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak epilepsi yönetimi konusunda eğitim süreçleri oluşturması oldukça önemlidir. Çocuklara bakım veren, eğitim sisteminde etkin rolü olan herkesi hastalık ve dikkat edilmesi gerekenler konusunda bilgilendirerek anlayış, destek ve empati gerektiren durumların da farkında olarak sosyal damgalanma duygularını aşmalarına destek olunmalıdır. Böylece, bireysel eğitim programları ve eğitimler sayesinde hem hastalar hem de bakım verenlerin epilepsi yönetimindeki becerileri arttırılarak yaşam kalitesi, öz yeterlilik duyguları hissetmeleri sağlanabilir.

KAYNAKÇA

- Andrade, D. M., Bassett, A. S., Bercovici, E., Borlot, F., Bui, E., Camfield, P., ... & Carter Snead III, O. Epilepsy: transition from pediatric to adult care. Recommendations of the Ontario epilepsy implementation task force. *Epilepsia* 58.9 (2017). 1502-1517.
- Aycan Ünalp., et al. "Nursing Approaches in Pediatric Epilepsy and Ketogenic Diet Treatment". *EC Paediatrics* 9.8 (2020): 110-115.
- Campiño-Valderrama, Sandra Milena, Paula Andrea Duque, and Yeison Alberto Garcés-Gómez. "Nursing education strategy for caregivers of children and adolescents with epilepsy." *Epilepsy & Behavior* 161 (2024): 110035.
- Epilepsies in children, young people and adults (NICE Guideline NG217) [Internet]. April 2022 [cited 2024 December 29]. Available from: <https://www.nice.org.uk/guidance/ng217/chapter/11-Service-provision-and-transition>
- Hutchinson K, Ryder T, Coleman H, et al. Determining the role and responsibilities of the community epilepsy nurse in the management of epilepsy. *J Clin Nurs.* 2023;32(13-14):3730-3745. doi:10.1111/jocn.16582
- IOM (Institute of Medicine). *Epilepsy across the spectrum: Promoting health and understanding*. Washington, DC: The National Academies Press. 2012. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK100592/>
- Johnson, Emma C., et al. "Epilepsy in schools: Views on educational and therapeutic provision, understanding of epilepsy and seizure management." *Epilepsy & Behavior* 122 (2021): 108179.
- Locatelli, G., Ausili, D., Stubbings, V., Di Mauro, S., & Luciani, M. "The epilepsy specialist nurse: A mixed-methods case study on the role and activities." *Seizure* 85 (2021): 57-63.
- Mammas, Ioannis N., and Demetrios A. Spandidos. "[Opinion] The challenge of paediatric epilepsy nursing: An interview with Mrs. Jenny O'Brien, paediatric epilepsy nursing specialist at the Wirral University Teaching Hospital, UK." *Experimental and Therapeutic Medicine* 20.6 (2020): 1-1.

DEĞİŞEN İKLİM KOŞULLARINDA ÇOCUK SAĞLIĞI VE PEDIATRİ HEMŞİRESİNİN ROLÜ

Arş. Gör. Sinem BAŞDEMİR

İzmir Bakırçay Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Bölümü,
sinem.basdemir@bakircay.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-8401-1625

Öğr. Gör. Emine ÇUBUKCU

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Hastanesi,
eminacubukcu@gmail.com - ORCID ID: 0000-0001-8992-6157

Prof. Dr. Hatice BAL YILMAZ

Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi,
hatice.bal.yilmaz@ege.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8015-6379

ÖZET

İklim değişikliği, uzun vadede insan sağlığını tehdit eden en önemli küresel problemlerden biridir. İklim değişikliğinin çocuk ve yetişkinde solunum, sinir ve bağışıklık başta olmak üzere birçok sistem üzerinde ciddi etkileri bulunmaktadır. Günümüzde, iklim krizinin etkileri açısından yaklaşık bir milyon çocuk çok yüksek riskli gruptadır. Çocuklar, özellikle gelişim dönemlerinde olduklarından iklim değişikliğinden daha fazla etkilenmektedirler. İklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan iklim krizinin çok geç olmadan ele alınması büyük önem arz etmektedir. Sağlık ekibi içinde pediatri hemşireleri, iklim değişikliğinin çocuk sağlığı üzerine etkilerini azaltmak ve ortadan kaldırmak adına önemli katkı sağlayabilirler. Bu literatür incelemesinde, küresel iklim değişikliğinin çocuk sağlığına etkileri ve pediatri hemşiresinin rolünü incelemek amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çocuk Sağlığı, İklim Değişikliği, Hemşirelik

THE ROLE OF CHILD HEALTH AND PEDIATRIC NURSE IN CHANGING CLIMATE CONDITIONS

Research Assistant Sinem BAŞDEMİR

Izmir Bakırçay University Faculty of Health Science Nursing Department,
sinem.basdemir@bakircay.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-8401-1625

Lecturer Emine CUBUKCU

Hatay Mustafa Kemal University Hospital,
eminacubukcu@gmail.com - ORCID ID: 0000-0001-8992-6157

Professor Doctor Hatice BAL YILMAZ

Ege University Nursing Faculty,
hatice.bal.yilmaz@ege.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8015-6379

ABSTRACT

Climate change is one of the most important global problems that threaten human health in the long term. Climate change seriously affects many systems, especially respiratory, nervous and immune systems in children and adults. Today, approximately one million children are in a very high-risk group in terms of the effects of the climate crisis. Climate change particularly affects children because they are in their developmental period. It is of great importance to address the climate crisis that has emerged due to climate change before it is too late. Pediatric nurses within the health team can make significant contributions to reducing and eliminating the effects of climate change on children's health. This literature review aims to examine the effects of global climate change on children's health and the role of the pediatric nurse.

Key words: Child Health, Climate Change, Nursing

1. DEĞİŞEN İKLİM KOŞULLARI

İklim değışikliği insanların doğrudan veya dolaylı olarak neden olduğu, insanlık için en büyük sağlık tehdidi olarak kabul edilmektedir (Rousell ve Cutter-Mackenzie-Knowles 2020). Küresel iklim krizinde en az sorumluluğa sahip olan çocuklar iklim değışikliğinin sonuçlarına karşı en savunmasız olanlardır (Squires vd, 2024). Dünya çapındaki çocukların büyük çoğunluğu iklim ve çevre değışikliği nedeniyle sağlık açısından çeşitli risklere maruz kalmaktadır (Helldén vd. 2023, Royal College of Paediatrics and Child Health 2023). Fosil yakıtların sıklıkla enerji kaynağı olarak kullanılması sonucu, yerkürenin zamanla ısınmasından en çok sorumlu tutulan sera gazı açığa çıkmaktadır. Atmosferdeki bu değışimler sebebiyle 2°C'nin üstünde bir ısı artışının, dünya iklimi ve ekosistemlerde geri dönüşü olmayan değışikliklere neden olmada kritik bir sıcaklık olacağı öngörülmektedir (Salvador Costa vd., 2022; Burch vd., 2022). Hava sıcaklıklarındaki artış, orman yangınları, yükselen deniz seviyeleri, su baskınları, artan karbondioksit sonucu oluşan iklim değışiklikleri gibi olağandışı doğa olayları, doğrudan ya da dolaylı olarak insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Çocuklar; yaş, buldukları gelişim dönemi, sağlık durumu, sosyoekonomik durum gibi faktörler nedeniyle iklim değışikliğinden daha fazla etkilenmektedir. Çocukların gelişim dönemlerine göre değışen fizyolojileri, baş etme yetenekleri ve medyada artan iklim değışikliği haberleri çocuklarda kaygı görölmesine neden olmaktadır. Sıcaklık artışı, güvenli içme suyu, gıda ve barınağa erişimdeki yetersizlikler, biyoçeşitlilikte azalma, sıcak hava dalgaları gibi olağandışı iklim olayları; solunum sistem hastalıkları (alerjik rinit, astım), vektör kaynaklı enfeksiyon hastalıkları, göç, kuraklık ve tüm bunların sonucunda kaygı, travma vb. ruh sağlığı sorunları gibi çocukları doğrudan etkileyen problemlerin oluşmasına neden olmaktadır (Anderko vd., 2022; Dos Santos vd., 2023; Royal College of Paediatrics and Child Health 2023; Squires vd, 2024). Günümüzde yaklaşık bir milyar çocuk iklim değışikliğinin sonuçları açısından 'son derece yüksek risk' altındadır. Bu nedenle, iklim değışikliği kararlarının merkezinde çocuk haklarının olması gerektiği vurgulanmaktadır (UNICEF 2021).

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ÇOCUK SAĞLIĞINA OLUMSUZ ETKİLERİ

Çocuklar yaşları ve içinde buldukları gelişim dönemlerine göre hızlı metabolizmaları ve gelişen organ sistemleri nedeniyle iklim değışikliğinin etkilerine karşı özellikle savunmasızdırlar. İntrauterin dönemden itibaren başlayabileceğini gösteren bu etkiler (Kidd vd., 2023), çocukluk dönemi ve adölesan dönem boyunca devam eder. Hava kirliliği, artan hava sıcaklıkları, kuraklık, gıda güvensizliği ve vektör kaynaklı hastalıklara maruz kalmak fetal beyin gelişimini etkileyebilmektedir. Bunun yanı sıra hava kirliliği, inrauterin bebek ölümlerinin artmasına ve düşük doğum ağırlığı ile doğmalarına da neden olabilmektedir (Squires vd., 2024). Hava kirliliği, insan sağlığı üzerinde en büyük olumsuz etkiye sahip çevresel faktördür. Hava kirliliği daha yüksek hastalık oranı ve ölüm oranı ile ilişkilidir (Filippini vd., 2022). Çocukların immatür ve gelişmekte olan akciğerlerinin olması, solunum hızlarının ortalama iki kat fazla olması nedeniyle yetişkinlere oranla hava kirliliğinden daha fazla etkilenmektedir. İklim değışikliği sonucu oluşan hava kirliliği çocukluk çağında astım, alerji ve pnömoni gibi sağlık sorunlarını başlatabilir, hızlandırabilir veya kötüleştirebilir (Urrutia-Pereira vd. 2022). İntrauterin dönemde ve erken çocuklukta hava kirliliğine maruz kalındığında, akciğerlerde geri döndürülemez olumsuz sonuçlar görülebilir. Bu durum

yetişkinlik döneminde solunum yolu hastalıklarının görülmesine neden olabilir (Royal College of Pediatrics and Child Health 2023). Aynı zamanda hava kirliliği çocuklarda beyin gelişimi ve ruh sağlığını da olumsuz etkilemektedir (Ferschmann ve diğerleri 2022).

Hava sıcaklıklarındaki artış nedeniyle orman yangınlarının ortaya çıkması sonucu, insan sağlığına zararlı birçok kimyasal madde içeren duman havaya karışmaktadır. Çocuklar bu dumana maruz kaldıklarında, önemli göz sağlığı problemleri yaşayabilmekte, solunum yolu hastalıklarına yakalanabilmektedirler (Ahdoot vd., 2015).

Artan hava sıcaklıkları nedeniyle besinlerin uygun şekilde taşınıp pişirme ve saklama koşullarına uyulmaması sonucu bulaşıcı hastalıklarda artış olmaktadır. Bu nedenle, her açıdan hassas olan çocuklarda besin kaynaklı enfeksiyon hastalıkları sonucunda diyare görülmektedir. Diyare beş yaş altındaki çocukları etkileyen günümüzde çocuk ölümlerinin önde gelen önemli nedenlerinden biridir. Artan sıcaklıklar nedeniyle bebeklerin ve küçük çocukların sıcak çarpması sonucu zarar görme veya ölme olasılıkları daha yüksektir. Aşırı sıcaklık, çocukların refahı için gerçek bir tehdittir. Çocukları bu tehditlerden korumak için doğru kıyafetlere, barınaklara ve içme suyuna erişimleri sağlanmalıdır (Ahdoot vd., 2015; Altizer vd., 2013).

Küresel iklim değişikliği sonucu artan sıcaklıklar nedeniyle, kuraklık yaşanmaya başlanacaktır. Bunun sonucunda ilerleyen yıllarda suya olan talep artacaktır. Sıcaklık ve su talebindeki artış; kuraklık ve sel gibi hava olaylarının şiddetlenerek sıklığının artması; deniz seviyesinin yükselmesi ve su baskınları, mahsullerin besin içeriğinde değişikliklere neden olmaktadır. Bu sebeple mahsuller sağlıklı olmaktan, çiftlik hayvanları ölmekte ve gelirler düşmektedir. Bu durum gıda güvensizliğine ve artan gıda fiyatlarına yol açmaktadır (UNICEF, 2015). Kuraklıkların neden olduğu gelir kaybı ve gıda sıkıntısı hem akut hem de yaşam boyu etkileri olabilecek mahsul veriminde düşmelere yol açabilmektedir. Mahsul verimindeki düşüşün önlenememesiyle ortaya çıkan yetersiz beslenme, çocuklarda çeşitli hastalıkların gelişmesine neden olacaktır (Ritchie, 2024)

Çocuklarda ve gençlerde iklim kaygısı ve iklim değişikliğine yönelik hükümet yanıtları hakkındaki inançlarını araştıran küresel çapta 10.000 çocuk ve genç ile yapılan anket sonucunda katılımcıların %59'unun iklim değişikliği konusunda çok veya aşırı endişeli olduğu bildirilmiştir. Katılımcıların yarısı iklim değişikliği nedeniyle üzgün, endişeli, öfkeli, güçsüz, çaresiz ve suçluluk duyguları hissettiklerini bildirmişlerdir (Hickman vd., 2021).

3. DEĞİŞEN İKLİM KOŞULLARININ ÇOCUK SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ OLUMSUZ ETKİLERİNİN AZALTILMASINDA PEDİATRİ HEMŞİRESİNİN ROLÜ

Çocuklar ve gençlerin birçoğu, iklim değişikliğinin hayatlarındaki potansiyel zararlı etkilerinin farkındadırlar. Bu nedenle, geleceğe dair endişelerini ve fikirlerini ifade etmelerine fırsat vermek önemlidir. Çocuk ve gençlere bakım veren hemşirelerin, iklim değişikliğinin bu popülasyon için oluşturduğu riskleri ve potansiyel olumsuz sağlık etkilerini bilmeleri büyük önem taşımaktadır. Hemşireler, iklim değişikliğinin çocuk ve gençlerin sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri konusunda farkındalık oluşturma, karar alma ve politika geliştirme süreçlerine katılım açısından önemli bir role sahiptir (Squires vd., 2024). Hemşireler, dünya çapında güvenilir uzmanlar ve değişim savunucularıdır (Nicholas vd. 2021). İklim değişikliğinin çocuk

sağlığı üzerindeki etkilerine ilişkin farkındalığı artırmada sahip oldukları önemli yer nedeniyle; hemşirelerin hava kirliliğinin ve sıcak hava dalgalarının; gelişmekte olan fetüslerin, yenidoğanların, bebeklerin, çocukların ve gençlerin sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri konusunda duyarlılık oluşturmaları büyük önem taşımaktadır (Adlong ve Dietsch 2015, Anâker vd. 2015).

Hemşireler ayrıca iklim değişikliğiyle doğrudan veya dolaylı olarak ilişkili sağlık koşullarını belirleyebilmeli, çocukları olumsuz etkilere karşı daha duyarlı hale getiren çevresel koşulları tahmin edebilmelidir (Oerther, 2023). Çevresel faktörler tarafından tetiklenen astım veya alerjik durumlar gibi iklim değişikliğiyle ilişkili sağlık sorunu olan çocukların bakımını desteklemelidir. Bu doğrultuda, hava kirliliği veya polen gibi çevresel tetikleyiciler konusunda farkındalığı artırmalı, eğitim ve danışmanlık sağlamalıdır.

Hemşirelerin hava kirliliğinin çocuk sağlığı üzerine etkilerini azaltmak için çocuklara ve ebeveynlere verilecek eğitim ve danışmanlık konuları şunları içerebilir;

- Sabahın erken saatlerinde veya ozon seviyelerinin düşük olduğu günlerde (pazar günleri) egzersiz yapılmalıdır (Yer seviyesindeki ozon konsantrasyonları genellikle rüzgârın hafif veya durgun olduğu, düşük nemli, sıcak günlerde en yüksektir.)
- Ayrıca aşırı sıcak günlerde egzersiz düzeyi sınırlandırılmalıdır.
- Temiz gıdaya erişim, hazırlama koşulları ve hijyen konusunda eğitimler sağlanmalıdır.
- Polen seviyeleri yüksek olduğunda içeride kalınmalı ve pencereler kapatılmalıdır.
- Ev veya çocuk odası için hava filtresi kullanılmalıdır.
- Polen mevsiminde, içeri girildiğinde kıyafetler hemen değiştirilmelidir.
- Gece yatmadan önce duş alınmalıdır.
- Orman yangınları sırasında çocukların güvenliğini sağlamak için maske takmak da dahil olmak üzere güncellenmiş öneriler takip edilmelidir.
- Orman yangınları tehdidi altında olan bir bölgede yaşıyorsa bir tahliye planı geliştirilmelidir.

Aşırı sıcaklık sonucu oluşabilecek hastalıkların etkisini azaltmak için çocuklara ve ebeveynlere verilecek eğitim ve danışmanlık konuları şunları içerebilir;

- Açık havada fiziksel aktivite sınırlandırılmalı, gölgede kalınmalıdır.
- Çocukların susuz kalmalarını önlemek için her zamankinden daha sık su içmeleri için teşvik edilmelidir.
- Sık sık serin duş alınmalıdır.
- Hafif yemekler yemeleri sağlanmalıdır.
- Yüksek sıcaklıklarda ve gıda zehirlenmesi olasılığında gıdaların bozulmasını önlemek için gıdalar uygun şekilde soğutulmalıdır.
- Elektrik kesintisi durumunda su ve bozulmayacak gıdalar saklanmalıdır.
- Güneş ışığını engellemek için perdeler veya panjurlar kapatılmalıdır.
- Mümkünse klima kullanılmalı, alt katlardaki evlerde yaşanmalıdır.
- Çocuklara bol, hafif ve açık renkli giysiler giydirilmelidir.

-Isı yorgunluğunun ve ısı çarpmasının belirtileri öğrenilmelidir.

Vektör kaynaklı hastalıkların etkilerini azaltmak için çocuklara ve ebeveynlere eğitim ve danışmanlık konuları şunları içerebilir;

- Kene, pire ve sivrisinek ısırıklarını azaltmak için önlemler alınmalıdır.
- Kene, sivrisinek ve/veya kenelerin bulunduğu alanlarda (örneğin çalılıklar ve uzun otların olduğu alanlar) zaman geçirdiğinizde açık renkli uzun pantolonlar, uzun kollu giysiler ve çoraplar giydirilmelidir.
- Şafakta ve alacakaranlıkta evde kalınmalıdır.
- Kenelerin olabileceği bir alanda vakit geçirdikten sonra duş alınmalıdır.
- Bebek arabaları ve bebek taşıyıcıları cibinlikle örtülmelidir.
- Güvenli böcek kovucu ürünler kullanılmalıdır.

(Anderko ve Pennea, 2022).

Pediatric hemşirelerinin, çocuk sağlığını korumak ve sürdürmek için iklim değişikliğinin ruh sağlığı üzerindeki etkileriyle de ilgili risk faktörlerini ve koruyucu faktörleri anlamaları gerekmektedir. Çocukların ve gençlerin iklim değişikliğinin ruh sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini tanımalarına ve bilinçlenmelerine yardımcı olmak için bu faktörleri incelemeli, aynı zamanda dayanıklılık geliştirmeleri için destek sağlamalıdır (Reiner-Haas Howard, 2022). Hemşirenin rolünün bir diğer önemli yönü, çocukların ve gençlerin iklim değişikliği ve sağlıkları hakkındaki endişelerini dile getirmeleri için savunuculuk yapmak ve desteklemektir. Bu, gençlerin sağlık hizmeti geliştirme ve karar alma süreçlerine katılımını teşvik ederek, örneğin gençlik forumları ve katılım faaliyetleri yoluyla başarılabilir (Whiting vd., 2020). Çocuk haklarının savunucusu olarak her şeyden önce çocukların sağlıklı bir çevrede yaşama hakları vardır. Hemşireler, iklim değişikliğinin etkilerine iklim değişikliğinin hafifletilmesi ve adaptasyonuna yönelik inovasyonu geliştirme, uygulama ve sürdürme konusunda uygulamaları, araştırmaları ve eğitimleri yoluyla yanıt vermek için stratejik olarak konumlandırılmışlardır.

4. SONUÇ

İklim değişikliği karşısında pediatri hemşireliğinde rollerin oluşturulmasına acil ihtiyaç vardır. Hemşireler, uygulamaları, araştırmaları ve eğitimleri yoluyla iklim değişikliğinin etkilerine yanıt vermek için önemli konumdadırlar. Hemşirelik eğitimi, öğrencileri iklim değişikliğinin etkilerine yeterince hazırlamalıdır. Hemşirelerin eko-okuryazarlığı, çevresel sorunların farkındalığı ve bunların nasıl önleneceğine dair bilgi düzeyini artırmak için bu konuların müfredata dahil edilmesi önem arz etmektedir. Hemşirelik mesleği mensuplarının çevre hakkında artan farkındalığı, çocuklara ve dolayısıyla toplum sağlığına katkıda bulunacaktır. Mesleğin iklim sorunlarına değer katma konusunda açık bir potansiyeli olmasına rağmen, bu alana yeterli yatırım yapılmamaktadır.

Pediatric hemşireleri, iklim değişikliğinin çocuk sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerine ilişkin farkındalığı artırmada, iklim değişikliğini uygulamalarına dahil etmede, hasta merkezli değerlendirmeler ve sağlık teşvik faaliyetleri yoluyla bu konuda hayati bir role sahiptir. Ayrıca, hemşireler çocukların iklim değişikliğiyle ilgili endişelerinin ve fikirlerinin duyulmasını ve kabul edilmesini desteklemelidir. Böylece sağlık hizmeti karar alma ve politika geliştirme süreçlerine katkıda bulunmalarını sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- Adlong W, Dietsch E. Nursing and climate change: an emerging connection. *Collegian*. 22, 1, 19-24. (2015). doi: 10.1016/j.colegn.2013.10.003
- Ahdoot S, Pacheco SE, Paulson JA, Baum CR, Bole A, Brumberg HL. Global climate
- Altizer S, Ostfeld RS, Johnson PT, Kutz S, Harvell CD. Climate change and infectious diseases: from evidence to a predictive framework. *Science*. 2013;2341(6145):514–519. doi: 10.1126/science.12394011
- Anåker A, Nilsson M, Holmner Å et al. Nurses' perceptions of climate and environmental issues: a qualitative study. *JAN*. 71, 8, 1883-1891. (2015). doi: 10.1111/jan.12655
- Anderko, Laura, and Emma Pennea. "Climate changes children's health: Improving clinical practice to address changing health needs." *The Journal for Nurse Practitioners* 18.4 (2022): 395-398.
- Burch H., Beaton L.J., Simpson G., Watson B., Maxwell J., Winkel K.D. A planetary health–organ system map to integrate climate change and health content into medical curricula. *Med. J. Aust*. 2022;217:469–473. doi: 10.5694/mja2.51737
- change and children's health. *pediatrics*. 2015;136(5):e1468-e1484. doi:
- Ferschmann L, Bos MG, Herting MM et al. Contextualizing adolescent structural brain development: environmental determinants and mental health outcomes. *Current Opinion in Psychology*. 44, 170-176. (2022). doi: 10.1016/j.copsyc.2021.09.014
- Filippini M., Masiero G., Steinbach S. The impact of ambient air pollution on hospital admissions. *Eur. J. Health Econ*. 2019;20:919–931. doi: 10.1007/s10198-019-01049-y.
- Helldén D, Ndejjo R, Sturm A et al. Climate change adaptation across the life-course – from pregnancy to adolescence – it's time to advance the field of climate change and child health. *Environmental Research: Health*. 1, 023001. (2023).
- Hickman, C., Marks, E., Pihkala, P., Clayton, S., Lewandowski, R. E., Mayall, E. E., ... & Van Susteren, L. Climate anxiety in children and young people and their beliefs about government responses to climate change: a global survey. *The Lancet Planetary Health*, 5(12), e863-e873. (2021).
- <https://doi.org/10.1542/peds.2015-3233>
- Kidd SA, Gong J, Massazza A et al. Climate change and its implications for developing brains – in utero to youth: a scoping review. *Journal of Climate Change and Health*. 13, 100258. (2023). doi: 10.1016/j.joclim.2023.100258

- Nicholas PK, Breakey S, Tagliareni ME et al. Climate change and population health: incorporating stages of nursing's political development. *Nursing Outlook*. 69, 1, 65-73. (2021). doi: 10.1016/j.outlook.2020.08.001
- Oerther S. Role of the school nurse in addressing climate-associated illnesses of school-age children. *NASN School Nurse*. (2023). 39, 1, 18-20. doi: 10.1177/1942602X231190409
- Portela Dos Santos O, Melly P, Joost S, Verloo H. Climate Change, Environmental Health, and Challenges for Nursing Discipline. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(9):5682. Published 2023 Apr 28. doi:10.3390/ijerph20095682
- Reiner KL, Haas-Howard C. Essential strategies for school nurses to move upstream in support of healthy students and a healthy planet. *NASN School Nurse*. (2022). 37, 4, 217-222. doi: 10.1177/1942602X221078342
- Ritchie, H. - "How will climate change affect crop yields in the future?" Published online at OurWorldinData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/will-climate-change-affect-crop-yields-future' [Online Resource] (2024).
- Rousell D, Cutter-Mackenzie-Knowles A. A systematic review of climate change education: giving children and young people a 'voice' and a 'hand' in redressing climate change. *Children's Geographies*. 18. 2 (2020): 191-208.
- Royal College of Paediatrics and Child Health. The Impact of Climate Change on Global Child Health – Position Statement. <http://www.rcpch.ac.uk/resources/impact-climate-change-global-child-health-position-statement> (Last accessed: 29 December 2024) (2023).
- Salvador Costa M.J., Leitão A., Silva R., Monteiro V., Melo P. Climate Change Prevention through Community Actions and Empowerment: A Scoping Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022;19:14645. doi: 10.3390/ijerph192214645.
- Squires, Eleanor, Lisa Whiting, and Julia Petty. "Effects of climate change on the health of children and young people." *Nursing Standard* (2024).
- United Nations International Children's Emergency Fund. The Climate Crisis is a Child Rights Crisis: Introducing the Children's Climate Risk Index. http://www.unicef.org.uk/wp-content/uploads/2021/08/UNICEF_CCRI_report_EN-1.pdf (Last accessed: 29 December 2024.) (2021).
- United Nations International Children's Emergency Fund. Unless We Act Now: The impact of climate change on children. United Nations International Children's Emergency Fund 2015. Erişim tarihi: 29.12.2024. Erişim Linki:<https://www.unicef.org/reports/unless-we-act-now-impact-climate-change-children>

Urrutia-Pereira M, Guidos-Fogelbach G, Solé D. Climate changes, air pollution and allergic diseases in childhood and adolescence. *Jornal de Pediatria*. 98, Suppl 1, S47-S54. (2022). doi: 10.1016/j.jpmed.2021.10.005

Whiting L, Roberts S, Evans K et al. ‘Giving young people a voice’: lessons from the NHS England Youth Forum. In Brady LM (Ed) *Embedding Young People’s Participation in Health Services: New Approaches*. Polity Press, Bristol, 77-104. (2020).

KÜRESEL BİR TEHDİT OLAN SITMA (MALARYA) VE KONTROLÜ

Dr. Öğr. Üyesi Fatma CEVAHİR

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi / Akyazı SHMYO, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü
fatmacevahir@subu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-4834-5046

ÖZET

Plasmodium cinsine ait protozoonların, *Anopheles* cinsi sivrisineklerin vektörlük yapmasıyla bulaşan sıtma (malarya), hastalığı ölümcül bir enfeksiyon hastalığıdır. Genellikle tropikal ve subtropikal bölgelerde daha sık görülmekte olan sıtma hastalığı aynı zamanda dünyada önemli bir halk sağlığı sorunu olarak kabul edilir. DSÖ'nün verilerine göre dünya genelinde 2022 yılında 85 ülkede yaklaşık 249 milyon sıtma vakası görülmüştür. Bu vakaların 608.000'i ölümlerle sonuçlanmış olup bu ölümlerin %94'ünün Afrika Bölgesi'nde görüldüğü tespit edilmiştir. Ayrıca bölgede görülen bu ölümlerin yaklaşık %80'ini 5 yaş altı çocuklar oluşturmuştur. Sıtma hastalığının kontrol altına alınabilmesi için ulusal ve uluslararası tüm kurumlar bazında ortak iş birlikleri ile oluşturulmuş stratejiler planlanması gerekmektedir. Öncelikle *Anopheles* cinsi sivrisineklerin insanları ısırmasının önüne geçilebilmesi için vektörlerle mücadele edilmesi oldukça önemlidir. Ayrıca erken tanı ve tedavi yöntemleri uygulanmalı, yeni tedavi seçenekleri ve aşı çalışmaları arayışları için bilimsel çalışmalar yapılmalı, toplumsal farkındalık oluşturulabilmesi için eğitimler verilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Malarya, sıtma, enfeksiyon kontrolü, halk sağlığı

GİRİŞ

Plasmodium cinsine ait protozoonların, *Anopheles* cinsi sivrisineklerin vektörlük yapmasıyla bulaşan sıtma (malarya), hastalığı ölümcül bir enfeksiyon hastalığıdır. Dünyada tropikal ve subtropikal bölgelerde daha sık görülmekte olan sıtma hastalığı önemli bir halk sağlığı sorunu olarak kabul edilir. Sıtmanın her sene milyonlarca vaka ve bunların yüz binlercesi ölüm ile sonuçlanması, genellikle beş yaşın altındaki çocuklar ve gebe kadınlar için hayati bir tehdit oluşturmasına sebep olmaktadır (WHO, 2021).

2022 yılında dünya genelinde 85 ülkede tahminen 249 milyon sıtma vakası ve 608.000 sıtma kaynaklı ölüm yaşanmıştır. Afrika Bölgesi, küresel sıtma yükünün orantısız derecede yüksek bir payını taşımaktadır. 2022 yılında bölge, sıtma vakalarının %94'üne (233 milyon) ve sıtma ölümlerinin %95'ine (580.000) ev sahipliği yapmıştır. Bölgedeki sıtmadan ölümlerin yaklaşık %80'ini 5 yaş altı çocuklar oluşturmaktadır (WHO, 2023). Hastalığın insanların sağlığını

etkilemesinin yanısıra, sosyal ve ekonomik kalkınma açısından da ciddi kayıplara sebep olmaktadır. Enfekte *Anopheles* türü sivrisineklerin insanı ısırmasıyla ve paraziti nakletmesiyle başlayan süreçte, parazitler kan dolaşımı aracılığı ile karaciğere geçerler ve burada çoğalırlar (Savi, 2023).

Küresel bir hastalık olan sıtma bilimsel çalışmaların ve uluslararası iş birliklerinin sıtmaya karşı çözüm odaklı olmanın önemini artırmaktadır. Halk sağlığı açısından sıtmanın kontrol altında tutulması, yoksullukla mücadelede ve sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

ETİYOLOJİSİ

Sıtma, *Plasmodium* cinsi protozoon parazit türlerinin sebep olduğu ve *Anopheles* cinsi sivrisineklerin vektörlüğü ile bulaşan bir hastalıktır. İnsanları enfekte edebilen beş ana *Plasmodium* türü: *Plasmodium falciparum*, *P. vivax*, *P. malariae*, *P. ovale* ve *P. knowlesi*'dir. Bunların arasında en sık görülen ve en ölümcül tür olarak bilinen *P. falciparum* türüdür (WHO, 2021). *Plasmodium* parazitlerinin iki ana konak arasında yaşam döngüsü gerçekleşir. Bunlar: İnsanlar ve *Anopheles* cinsi sivrisineklerdir. Enfekte bir sivrisineğin ısırmasıyla bulaşan parazit, insanların kan dolaşımına girer ve burada, karaciğerde olgunlaşarak eritrositlere yayılırlar. Bu döngü sonucunda enfekte kişilerde anemi, titreme ve ateş gibi semptomlar başlar (Phillips et al., 2017). *P. falciparum* kaynaklı enfeksiyonlar çoklu organ yetmezliği ve serebral sıtma gibi komplikasyonlara sebep olarak ölümcül olabilmektedirler.

P. ovale ve *P. vivax* hipnozoit form halinde uzun süre karaciğerde sessiz kalabilirler ve aylar hatta yıllar sonra bile yeniden aktif olabilirler. Bu sebeple, bunların tedavisinde primaquine benzeri ilaçlarla latent formların ortadan kaldırılması gerekmektedir (White et al., 2014).

EPİDEMİYOLOJİSİ

Sıtma hastalığı, tropikal ve subtropikal bölgelerde endemik olan ve ciddi sonuçları olan bir hastalıktır. 2020 yılında dünyada 241 milyon, 2022 yılında 249 milyon sıtma vakası ve bunların sırasıyla 627.000 608.000'i ölüm olarak rapor edilmiştir (WHO, 2021; WHO, 2023). Sıtma ölümlerinin %94'ü Afrika bölgesinde ve bunların büyük bir kısmı beş yaş altı çocuklarda görülmektedir. *P. falciparum*, Sahra Altı Afrika'da baskın türdür, fakat *P. vivax*, Asya ve Latin Amerika'da daha yaygındır (Battle et al., 2019).

Sıtmanın coğrafik yayılımı, iklim koşulları, sivrisinek popülasyon yoğunluğu ve sağlık hizmetlerine erişim gibi birçok faktörün etkisi altındadır. İklim değişikliği, sıtmanın coğrafi kapsamını genişletebilecek bir tehdittir. Özellikle artan sıcaklığın etkisiyle sivrisinekler daha geniş alanlara yayılarak ve daha uzun üreme sürelerine sahip olurlar (Caminade et al., 2019).

KLİNİK ÖZELLİKLERİ

Sıtma hastalığı, birçok klinik belirtilerle seyreden ve ciddiyet durumu enfekte eden *Plasmodium* türüne göre değişiklik gösteren bir hastalıktır. En sık görülen belirtiler arasında titreme, ateş, baş ağrısı, terleme, halsizlik ve kas ağrılarıdır (Phillips et al., 2017).

Ciddi Sıtma: Serebral sıtma, ciddi anemi, akut solunum yetersizliği ve hipoglisemi gibi komplikasyonlarla kendini gösteren *Plasmodium falciparum* enfeksiyonları oldukça dikkat edilmesi gereken bir türdür. Serebral sıtma, konvülsiyon ve bilinç kaybı ile karakterizedir ve tedavi edilmeyince ölümcül olabilir (Maitland, 2016).

Gebelikte Sıtma: Yapılan çalışmalarda, gebe kadınlarda sıtma enfeksiyonları sonucunda erken doğum, düşük doğum ağırlığı ve artmış maternal mortalite riski ilişkili olduğu bulunmuştur (Desai et al., 2018). Daha düşük ölümcül riski olan bir tür olan *Plasmodium vivax* enfeksiyonlarının nüks edebilmesi sebebiyle tedavi gerektirmektedir (White et al., 2014).

TANI YÖNTEMLERİ

Sıtma hastalığının tanısı, klinik semptomların değerlendirilmesiyle başlayabilse de kesin tanı laboratuvar yöntemleriyle konulmaktadır.

Mikroskopik Tanı: Kan örneğinin yayma ve kalın damla preparatı, *Plasmodium* türlerini ayırtabilmek için altın standart olarak kabul edilmektedir. Giemsa ile boyanan yaymalar, parazitlerin yükünü ve türlerini saptamak için kullanılmaktadır (Karadağ et al., 2015). Ancak bu yöntem için yüksek deneyim gerekmektedir.

Serolojik Testler: Bu testler, geçmişte oluşan enfeksiyonları saptamak için kullanılmaktadır. Fakat aktif enfeksiyonun tanısında bir faydası yoktur (Bousema et al., 2012).

Hızlı Tanı Testleri (RDT): RDT'ler, *Plasmodium* antijenlerini tespit eden immünokromatografik testlerdir. Bu yöntemler, sınırlı kaynaklara sahip bölgelerde hızlı ve kullanışlı bir seçenek sunar. Ancak, duyarlılık durumları *P. falciparum* ve *P. vivax* arasında değişiklik gösterebilir (Berzosa et al., 2018).

Moleküler Tanı: PCR (Polimeraz Zincir Reaksiyonu), *Plasmodium* DNA'sının tespit etmek için kullanılır ve yüksek duyarlılık ve özgüllük sunar. Fakat, bu yöntemin maliyeti daha yüksek ve uzmanlık gerektirir (Rougemont et al., 2004).

KONTROLÜ

Sıtma, dünyanın birçok bölgelerinde yaygın olarak görülen ciddi bir halk sağlığı problemi olarak görülmektedir. Hastalığın kontrol altına alınması ve yayılmasının önlenmesi için birden fazla strateji geliştirilmiştir. Sıtmanın kontrol altına alınmasında etkin olan aşı geliştirme çalışmaları, vektör kontrolü, kemoprofilaksi ve toplum eğitimi gibi temel yaklaşımlar bulunmaktadır.

Vektör Kontrolü

Sıtmanın temel vektörü olan *Anopheles* sivrisineklerinin kontrolü, hastalığın yayılmasının önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

İnsektisitli Yatak Örtüleri: Sivrisinek ısırıklarını engelleyerek sıtma insidansını azaltmada etkili bir yöntemdir. DSÖ, ITN kullanımının, sıtma vakalarını ve ölümleri %50 oranlarında azaltabileceğini bildirmiştir (WHO, 2021).

Mekân Rezidüel Spreyleme (IRS): Ev içi insektisit uygulamaları, sivrisinek popülasyonlarını kontrol etmeyi hedefler. Özellikle endemik bölgelerde bu yöntem, enfeksiyon riskini azaltmada etkili olabilmektedir (Bhatt et al., 2015).

Larvaların Kontrolü: Sivrisineklerin üremeleri için uygun alanlarının yok edilmesi veya larvasit kullanılmasıyla popülasyon kontrolü sağlanabilir. Su birikintilerinin drenajı ve çevre yönetimi bu stratejilerin temel parçasını oluşturabilir (Caminade et al., 2019).

Kemoprofilaksi Kullanımı

Kemoprofilaksi, sıtma hastalığı riskinin yüksek olduğu bölgelere seyahat eden bireylerde yaygın olarak kullanılan bir koruyucu yöntemdir. Antimalaryal ilaçlar, sıtma enfeksiyonu riskini azaltmada etkili olduğu bilinmektedir.

- Risk oranı yüksek bölgelerde, kısa zamanlı seyahatlerde kullanılması için meflokin ve atovakuon-proguanil benzeri ilaçlar tercih edilmektedir (White et al., 2014).
- Profilaksinin tedavi süresi, bireyin maruz kalma riski ve bölgenin endemik yapısına göre değişebilir (Phillips et al., 2017).

Aşı Çalışmaları

Sıtma üzerine yapılan aşı çalışmaları son yıllarda önem kazanmıştır. RTS,S/AS01 (Mosquirix) aşısı, 2021 yılında DSÖ tarafından onaylanmış ve pilot uygulamaları başlatılmıştır. Onaylanan bu aşı, *P. falciparum* kaynaklı enfeksiyonları önlemede etkili olabilir (Ashley et al., 2014).

- RTS,S/AS01 aşısı beş yaşın altındaki çocukları hedef almakta ve sahra altı Afrika'da enfeksiyon oranlarında %30 azalma görülmüştür. (Dondorp et al., 2009).
- Bu aşının uygulanabilirliği ve etkisi, Malavi, Kenya ve Gana gibi ülkelerde pilot projeler aracılığı ile test edilmiştir.

Eğitim

Sıtma hastalığı hakkında toplumda farkındalık oluşturulması hastalığın yayılmasını önlemede çok önemlidir.

- Sivrisineklerden korunma yöntemleri, erken tanı ve tedavi geliştirilmesi gibi konularda eğitim programları düzenlenmelidir (Bousema et al., 2012).
- Toplumda birçok farkındalık kampanyaları, korunma stratejilerinin etkinliğini artırabilir.

SONUÇ

Yüz milyonlarca insanı etkileyen sıtma, dünyanın çeşitli bölgelerinde halk sağlığı üzerinde ciddi etkiler bırakan önemli bir enfeksiyon hastalığı olmaya devam etmektedir. Bu hastalıkla mücadelede sağlık sistemlerinin dayanıklılığını artırmak, yenilikçi tedavi stratejilerini hayata geçirmek ve toplumsal farkındalığı artırmak kritik bir öneme sahiptir.

Halk sağlığı üzerine etkileri küresel düzeyde hissedilmektedir. Düşük ve orta gelirli ülkelerde, hastalık hem ekonomik kalkınmayı engellemekte hem de eğitim ve sosyal refah üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Düzenli vektör kontrol programları, erken tanı ve tedaviye erişim olanaklarını genişletmek, bu etkinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır (Bhatt et al., 2015; WHO, 2021).

Mücadelede uluslararası iş birliği ve sürdürülebilir ekonomik modelleri öncelikli olarak ele alınmalıdır. DSÖ'nün düzenlediği küresel sıtma raporları, kontrol stratejilerinin etkinliğini izleme ve iyileştirme açısından temel rehber niteliğindedir. Ulusal ve uluslararası kaynakların daha etkin kullanılması, hastalığın etkisinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır (Caminade et al., 2019).

KAYNAKÇA

- Ashley, E. A., Dhorda, M., Fairhurst, R. M., Amaratunga, C., Lim, P., Suon, S., ... & White, N. J. (2014). Spread of artemisinin resistance in *Plasmodium falciparum* malaria. *New England Journal of Medicine*, 371(5), 411-423. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1314981>
- Berzosa, P., De Lucio, A., Romay-Barja, M., Herrador, Z., González, V., García, L., ... & Benito, A. (2018). Comparison of three diagnostic methods (microscopy, RDT, and PCR) for the detection of malaria parasites in representative samples from Equatorial Guinea. *Malaria journal*, 17, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12936-018-2292-5>
- Battle, K. E., Lucas, T. C. D., Nguyen, M., Howes, R. E., Nandi, A. K., Twohig, K. A., ... & Hay, S. I. (2019). Mapping the global endemicity and clinical burden of *Plasmodium vivax*, 2000–2017: A spatial and temporal modelling study. *The Lancet*, 394(10195), 332-343. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)31096-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)31096-7)
- Bhatt, S., Weiss, D. J., Cameron, E., Bisanzio, D., Mappin, B., Dalrymple, U., ... & Gething, P. W. (2015). The effect of malaria control on *Plasmodium falciparum* in Africa between 2000 and 2015. *Nature*, 526(7572), 207-211. <https://doi.org/10.1038/nature15535>
- Bousema, T., Griffin, J. T., Sauerwein, R. W., Smith, D. L., Churcher, T. S., Takken, W., ... & Gosling, R. (2012). Hitting hotspots: spatial targeting of malaria for control and elimination. *PLOS Medicine*, 9(1), e1001165. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001165>

- Caminade, C., McIntyre, K. M., & Jones, A. E. (2019). Impact of recent and future climate change on vector-borne diseases. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1436(1), 157-173. <https://doi.org/10.1111/nyas.13950>
- Desai, M., Hill, J., Fernandes, S., Walker, P., Pell, C., Gutman, J., ... & Webster, J. (2018). Prevention of malaria in pregnancy. *The Lancet Infectious Diseases*, 18(4), e119-e132. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(18\)30064-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(18)30064-2)
- Dondorp, A. M., Nosten, F., Yi, P., Das, D., Phyo, A. P., & Tarning, J. (2009). Artemisinin resistance in Plasmodium falciparum malaria. *New England Journal of Medicine*, 361, 455–467. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa0808859>
- Haldar, K., Bhattacharjee, S., & Safeukui, I. (2018). Drug resistance in Plasmodium. *Nature Reviews Microbiology*, 16(3), 156-170. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.161>
- Karadağ, A., Ünal, N., Yanık, K., Borucu, R., Günaydın, M., & Hökelek, M., (2015). Evaluating of Plasmodium Species Isolated From Peripheral Blood Samples in a Non-Endemic Region. *Türkiye Parazitoloji Dergisi*, vol.39, no.1, 5-8.
- Maitland, K. (2016). Severe malaria in African children—the need for continuing investment. *New England Journal of Medicine*, 375(25), 2416-2417. <https://doi.org/10.1056/NEJMe1614359>
- Phillips, M. A., Burrows, J. N., Manyando, C., van Huijsduijnen, R. H., Van Voorhis, W. C., & Wells, T. N. C. (2017). Malaria. *Nature Reviews Disease Primers*, 3(1), 1-24. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.50>
- Price, R. N., Commons, R. J., Battle, K. E., Thriemer, K., & Mendis, K. (2020). Plasmodium vivax in the Era of the Shrinking P. falciparum Map. *Trends in Parasitology*, 36(6), 560-570. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.03.009>
- Rougemont, M., Van Saanen, M., Sahli, R., Hinrikson, H. P., Bille, J., & Jaton, K. (2004). Detection of four Plasmodium species in blood from humans by 18S rRNA gene subunit-based and species-specific real-time PCR assays. *Journal of Clinical Microbiology*, 45(7), 2415-2419.
- Savi, M. K. (2023). An overview of malaria transmission mechanisms, control, and modeling. *Medical Sciences*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/medsci11010003>
- Siahaan, L. (2022). Birinci Basamak Sağlık Hizmetlerinde Dihidroartemisinin-Piperaquine Kombinasyonu ile Sıtma Tedavisinin Etkinliğinin Gözlenmesi. *Türkiye Parazitoloji Dergisi*, 46(2), 102-107.
- White, N. J., Pukrittayakamee, S., Hien, T. T., Faiz, M. A., Mokuolu, O. A., & Dondorp, A. M. (2014). Malaria. *The Lancet*, 391(10130), 1608-1621. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30324-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30324-6)

World Health Organization. (2021). *World Malaria Report 2021*. Geneva: WHO.
<https://www.who.int/teams/global-malaria-programme/reports/world-malaria-report-2021> (Erişim Tarihi: 02.12.2024)

World Health Organization (WHO). (2023). Malaria. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/malaria> (Erişim Tarihi: 02.12.2024)

GEBELİKTE TOXOPLAZMOZİS

Dr. Öğr. Üyesi Fatma CEVAHİR

**Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi / Akyazı SHMYO, Tıbbi Hizmetler ve
Teknikler Bölümü**

fatmacevahir@subu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-4834-5046

ÖZET

Toxoplazmoz, *T.gondii*'nin etkeni olduğu bir parazitozdu. Bu parazit insan vücudunda eritrositler hariç tüm hücreleri ve hayati organları tutabilir. Toxoplazma enfeksiyonu akut veya kronik, semptomatik veya asemptomatik seyredebilir. Genellikle asemptomatik enfeksiyonlar olarak görülür. Ancak gebe ve immünsüprese hastalarda ağır klinik tablolar yapabilir. Konjenital toxoplazmoz ise ilk trimesterde spontan düşüklere, ölü doğumlara ve erken doğumlara neden olabilir. Annenin tedavi edilmesi konjenital enfeksiyon gelişme riskini %60 oranında azaltmaktadır. İmmünyetmezliği olan ya da immün sistemi baskılanmış hastalarda ve seronegatif gebe kadınlarda korunma çok büyük önem taşımaktadır. Çiğ veya az pişmiş et ve çiğ etten yapılmış ürünlerin yenmemesi önerilmektedir. Etin 66 °C'nin üzerinde en az 4 dakika pişirilmesi ve -20 °C'de 24 saat dondurulması ile doku kistlerinin öldüğü gösterilmiştir. Çiğ et ve sebzelerle temastan sonra ellerin yıkanması önemlidir. Ookistlerin bulunma olasılığı olan sebze ve meyvelerin iyice yıkanması önerilmektedir. Çiğ yumurta yemekten ve pastörize olmayan süt içmekten sakınılmalıdır. Suda 5 dakika kaynatılmış ve sahanda 3 dakika pişirilmiş yumurtada canlı parazit bulunabildiği bildirilmiştir. Sahipsiz sokak kedilerinin barınaklara alınarak izole edilmesi ve kedilerle sıkı temastan kaçınılması önerilmektedir. Su ve sebzelerin, kasaplık hayvan yemlerinin kedi dışkısı ile kirlenmesini önlemek için gerekli özen gösterilmelidir. Bu derlemede, toxoplazmozis ve onun gebelik açısından önemine vurgu yapılarak korunma ve kontrol önlemlerinin anlatılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Toxoplazmozis, gebelik, enfeksiyon kontrol, halk sağlığı

TOXOPLAZMOZİS HASTALIĞININ ÖNEMİ

Toksoplazmozis, *Toxoplasma gondii*'nin neden olduğu, memeliler ve kuşlar dahil birçok türde görülebilen sistemik bir enfeksiyon hastalığıdır. Hem evcil hem de yabani hayvanlarla insanlarda yaygın olarak görülmesine rağmen, klinik olarak belirgin vaka sayısı oldukça sınırlıdır. Özellikle insanlarda ve koyunlarda ortaya çıkan asemptomatik akut toksoplazmoz, konjenital enfeksiyonlar açısından kritik bir öneme sahiptir (1). Bu parazit, insan vücuduna girdikten sonra eritrositler dışında tüm hayati organları ve hücreleri enfekte edebilir. Akut enfeksiyon sırasında kan, beyin omurilik sıvısı (BOS), gözyaşı, meni, tükürük ve idrar gibi vücut sıvılarında tespit edilebilir (2). Toksoplazma enfeksiyonları asemptomatik, semptomatik, akut veya kronik olarak farklı şekillerde seyredebilir. Enfeksiyonların çoğunluğu asemptomatik olarak devam etse de gebelik sırasında ortaya çıkan enfeksiyonlar, ciddi klinik tablolara yol açabilir. Konjenital toksoplazmoz, gebeliğin ilk üç ayında spontan düşükler, ölü doğum veya erken doğumlarla sonuçlanabilir. Gebelik sırasında annenin tedavi edilmesi, konjenital enfeksiyon riskini %60 oranında azaltmaktadır. *T. gondii* ilk kez 1908 yılında Nicole ve Manceaux tarafından Kuzey Afrika kemirgeni *Ctenodactylus gundi*'den izole edilmiştir. İlk insan vakası ise 1923 yılında Prag'da Janku tarafından oküler toksoplazmoz olarak tanımlanmıştır. Enfeksiyonun intrauterin yolla bulaşabileceği ve yenidoğanlarda ensefalit yapabileceği, 1937 yılında Wolf ve Cowen tarafından rapor edilmiştir. Kean ve Grocott, 1945 yılında asemptomatik bireylerde *T. gondii* kistlerinin varlığını tespit etmiş, Sabin ve Feldman ise 1949 yılında toksoplazmozun erken teşhisi için duyarlı bir immünolojik test olan "dye-test"i geliştirmiştir. Ayrıca Jacobs, Remington ve Melton, 1960 yılında enfekte hayvan etlerinin toksoplazmoz bulaşında önemli bir kaynak olduğunu rapor etmişlerdir. Türkiye'de toksoplazmoz vakaları ilk olarak 1950 yılında bir köpekte, insanlardaki ilk vaka ise 1953 yılında tespit edilmiştir (3).

Toksoplazma paraziti, bazen kan yoluyla gözün arka segmentine ulaşarak retinada inflamasyona ve hasara neden olur ve kist formuna dönüşür. Gözle ilgili belirtiler bireyin yaşı ve genel sağlık durumuna göre değişiklik gösterebilir. Erken çocukluk döneminde görme keskinliğinde azalma, şaşılık, nistagmus ve lökokori gibi belirtiler görülebilirken; daha ileri yaşlarda görme kaybı, fotofobi, ağrı ve kızarıklık gibi semptomlar ortaya çıkabilir (4).

Bağışıklık sistemi baskılanmış bireylerde toksoplazmoz enfeksiyonları daha ciddi seyredebilir. HIV/AIDS gibi bağışıklığı baskılayan durumlarda toksoplazma enfeksiyonlarının sistemik ve kranial komplikasyonları oldukça önemli bir sorun haline gelmiştir. Bununla birlikte, konjenital enfeksiyonların ağır sonuçları nedeniyle en çok gebeler ve gebelik planlayan kadınlar bu hastalık açısından önem taşımaktadır (5). Organ nakli yapılan hastalarda enfeksiyonun şiddeti, donör ve alıcının *T. gondii* ile daha önce karşılaşmış karşılaşmadığına, immün baskılanma derecesine ve nakledilen organın türüne bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Organ nakli alıcılarının, *Toxoplasma*'ya özgül IgG antikorları açısından taranması önerilmektedir (6).

Hastalığın yayılmasında iki önemli faktör bulunmaktadır: ara konaklardaki doku kistleri ve kedilerin dışkıları yoluyla yayılan ookistler. Kedilerin toksoplazmozun epidemiyolojisindeki rolü nedeniyle, bu konuda pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Kedilerde toksoplazmoz oldukça yaygın görülse de klinik enfeksiyon vakaları nadirdir. Kedilerde *T. gondii* kaynaklı ölümle sonuçlanan ilk vaka, 1942 yılında Olafson ve Monlux tarafından tanımlanmıştır. Bu

vakada, iştahsızlık, ateş ve öksürük gibi semptomlarla karakterize kısa süreli bir hastalık tablosunun ardından kedinin öldüğü rapor edilmiştir (1).

HASTALIĞIN ETKENİ VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ

T.gondii'nin şimdiye kadar 25 suşu gösterilmiş ve bütün suşların temel antijenik yapılarının birbirine benzeyen karakterlerde olduğu tespit edilmiştir. İnsanlar ve hayvanlardan izole edilen parazitin üç ayrı genotipleri vardır. Zorunlu hücre içi parazitidir ve suni besiyerlerinde üreme özellikleri yoktur. Üremeleri için embriyonlu yumurta, deney hayvanları veya doku kültürü gibi canlı hücre sistemleri gerekmektedir. Toksoplazmanın evriminde seksüel döngüler için son konak olan kedilerin ince bağırsaklarında, aseksüel döngü ise insanlarda ve bütün sıcak kanlı olan hayvanlarda görülebilmektedir (7-9).

Parazitin bilinen üç morfolojik şekli bulunmaktadır:

a) Trofozoit (Takizoit, Endozoit)

Bu formlar aseksüel bir şekilde hızlı çoğalabilirler. Enfeksiyonun olduğu akut dönemde görülürler. Kıvrık, yay konsentrik veya oval şekilli parazitin hızlı çoğalabilen hareketli formudur. Soğukta, kurulukta ve sıcakta ve midedeki sindirim enzimleri ile canlılıklarını kaybetmektedirler. Bu form her şekilde nükleuslu hücreye invazyon yöntemiyle girerek, hücrenin içinde vakuoller (psödokist) oluşturarak orada çoğalabilmektedirler (7-9).

b) Bradizoit (Kist Şekli)

Dokularda oluşan enfektif form olan bradizoitler, konağın yaşam süresince kist içerisinde canlılığını sürdürmektedirler. Bradizoit formlar kistten ayrılınca takizoit şekillere dönüşerek özellikle bağışıklık sistemi baskılanmış olanlarda enfeksiyonun tekrar alevlenmesine sebep olmaktadır (5).

c) Ookist

Enfekte kedilerin dışkılarında görülen ookistler insan dahil tüm sıcak kanlıları enfekte edebilirler (5). Olumsuz dış şartlarda dahi 18 gün gibi uzun bir süre canlılığını muhafaza edebilmektedir (1).

EPİDEMİYOLOJİ VE BULAŞMA ŞEKLİ

Az pişirilmiş veya çiğ doku kisti içermekte olan et, çiğ yumurta, çiğ süt, iyi yıkanmamış meyve ve sebzeler gibi birçok yollarla geçebilmesi sebebiyle bütün dünyada önemli bir sağlık sorunudur (5). İklim-hava koşullarıyla yakından ilişkilidir. Soğuk, kuru iklimler ve yüksek rakımlarda sıklığı azalmaktadır. Seropozitivite; çocukların kontamine toprakla oynamaya

başladığı 1 yaşında başlamakta ve adolesanda %50-75'e çıkmaktadır. *T.gondii* enfeksiyon seroprevalansı bölgelere göre değişkenlik gösterir. Fransa'da gebe kadınların %80'inde antikor pozitifliği, İngiltere ve ABD'de gebe kadınların %16-40'da antikor pozitifliği olduğu bildirilmektedir. Türkiye'de seroprevalans %17-78 olarak gösterilmiştir. Afrika, Tahiti ve Fransa seroprevalansın yüksek olduğu ülkelerdir. *T.gondii* insanlara enfekte etlerin yeterince pişirilmeden ya da çiğ yenilmesi ile ya da enfekte etlere temas sonrası ellerin enfekte olması ile, kedilerin dışkılarıyla etrafa yayılan ookistlerle kontamine su, toprak veya yıkanmamış sebze ve meyva tüketilmesi ile gebelik sırasında enfeksiyonun transplesantal yolla fetusa geçmesi ile bulaş olur. Konsepsiyon gelişmeden önce *T.gondii* ile enfekte bir kadında parazit nadiren fetusa geçer. Gebeliği esnasında primer akut enfeksiyon geçiren veya immunsupresyon nedeniyle reaktivasyon gösteren kadınlarda parazit transplesantal olarak fetusa bulaşabilir (10). Laboratuvar çalışanları da edinsel bulaş açısından risk altındadır. *T.gondii*'nin sitratlı kanda 4 °C'de 50 gün kadar canlı kalabildiği, enfeksiyonun kan veya akyuvar transfüzyonu ile geçebildiği bildirilmiştir (11). Hayvanlara bakıldığında, koyunlarda toxoplazmosis yavru atma suretiyle ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Diğer taraftan kistleri insanlar için enfeksiyon kaynağı olduğundan insan sağlığı açısından da önemlidir. Koyun toxoplazmosisi ilk defa Olafson ve Monlux tarafından bildirilmiştir (12). Toxoplazmosis hastalığı, konaklardaki prognozu genellikle subklinitir. Türkiye'de koyunlarda *T. gondii* seropozitivitesi %49.47-98.92 olarak bildirilmiştir (13). Atların enfeksiyon kaynağı olarak koyun ve domuzlara göre daha az, sığırlara göre ise çok daha önemli olduğu bildirilmiştir. Toxoplazmosis'in prevelansı, toplumların sosyo-ekonomik durumu, kedibesleme ve beslenme alışkanlıklarına göre ülkeden ülkeye değişmekle beraber % 0-90 kadardır. Atlarda farklı serolojik testlerle yapılan prevelans çalışmalarında, ülkemizde %1.9-%14.3 arasında, diğer ülkelerde %0.5-34 arasında bir seropozitiflik tanımlanmıştır (14). Sığırlarda hastalık ilk kez 1953 yılında bildirilmiş; dört ayrı sürüde inek ve buzağuların dokularından *T.gondii* benzeri bir parazit tespit edilmiştir. Hastalıktan etkilenen hayvanlarda solunum ve merkezi sinir sistemi bulguları belirlenmiştir. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda sığırlarda doğal şartlarda abort veya neonatal ölümlerin görülmediği ve çoğunlukla önemli bir klinik bulguya neden olmadan sublinik seyrettiği bildirilmektedir. Ayrıca sığırların koyun ve keçilere göre daha dirençli olduğu bildirilmektedir (15).

GEBELİKTE TOXOPLAZMOZ VE KONJENİTAL TOXOPLAZMOZ

Gebelik esnasında fetüsün hayatta kalma ve presentanın implantasyonunu olanak sağlayan birçok immünolojik değişiklikler vardır. Birçok patojene duyarlılığın gebelik süresince görülmesi muhtemelen şaşırtıcı değildir. Bağışıklık sistemi geçişi gebelikle ilgili hormonlar olan östrojen, testesteron ve progesteron hormonlarındaki değişikliklerden kaynaklanır. Bunlar normal psikolojik seviyelerle karşılaştırılır. Gebe olmayan kadınlarda progesteron hormonu 1.8 ± 0.34 ve 43 ± 13 mmol/litre döngüsü arasındadır. Gebe kadınlarda ise progesteron hormonu gebeliğin son dönemlerinden 500 mmol/litre'ye ulaşır. Bu da hormonal olarak bağışık hücre fonksiyonunun düzenlenmesini içerir. Makrofajların varlığına rağmen mast hücreleri, NK hücreleri, eozinofiller, nötrofiller ve T-hücreleri trofoblast kabul edilemez. Lokal T hücrelerinin

görevi fotoplasental dokularda düzenlenmiştir. Farelerde treg hücreleri gebelik süresince büyük oranda yerleşme ve yayılmaya hazırlık aşamasında uterusu toplandığı saptanmıştır. İnsanlarda gebelik süresince Treg sayı döngüsünün artışıdaki bir hata zayıf bir prognoz ile ilişkilendirilir. Decidua'daki IL-17 T-hücrelerinin birikmesi düşük ile ilgilidir. Dahası, TH2 fenotipi IL-4, IL-5 ve IL-10 üretimiyle ilgilidir. IFN γ IL-2 GİBİ sitokinlerle ilgili TH1 in düzenindeki ciddi bozulma gebe farelerde düşüğe zemin hazırlayabilir (16).

Gebelikte *T.Gondii* Enfeksiyonuna Duyarlılığın Artması

Gebelik süresince farelerde *T.gondii* duyarlılığı artar. Th2'ye karşı bağışıklık tepkisini kutuplamak için gebelik yeteneğini devam ettirmede *T.gondii* bulaştırılan gebe fareler aynı şekilde enfekte edilen gebe olmayan dişi farelere göre IFN γ daha az üretir. IFN γ oranındaki bu azalış ölüm oranının artışıyla ilişkilidir. Fakat exogenous IFN γ ya da IL-2'nin yöntemiyle bu ortadan kaldırılabilir. Önceki araştırmalar insanlarda varolan *T.gondii* enfeksiyonunun konjenital geçişle hiçbir risk oluşturmadığını gösteriyor. Bu genellikle doğru olmasına karşın, birçok vakada kronik enfeksiyonun doğuştan bulaştığı kaydedilmiştir. Bu genelde annedeki bağışıklık baskılanması yüzündendir (örneğin, HIV enfeksiyonu veya yüksek doz steroidler). Bu da hastalığa reaksiyonun bir derecesi olduğuna işaret eder. Aslında kronik *T.gondii* enfeksiyonlu 18 dişi gebede yürütülen çalışmada 7 reaktif vaka gözlenmiştir. Hastalığın reaktivasyon olayı diğer anatomik alanlarda gözlemlenmediği için daha yüksek gibi görünmektedir. Bu da gebe annenin ve fetüsün sağlıklı olduğunun göstergesidir. Aynı şekilde gebelik sürecinde koyunlara hastalık bulaştığında sadece konjenital geçiş riski oluşmuştur. Dahası koyunlar daha da fazla enfeksiyona maruz kalırlarsa kronik enfeksiyonun doğuştan geçişi engellediği düşünülmüştür. Ancak bir çalışmada konjenital geçişin koyunlarda sürüler halinde gerçekleştiği her zaman tek bir durumda olmadığını gösteriyor. Farelerde jenerasyonlar arası *T.gondii* 'nin doğuştan transmisyonu 1959'dan daha da öncesinde rapor edilmiştir. Fakat fare soy bağımlılığı o zamandan beri gösterilmiştir. Bu da konjenital geçişi engellemede, farelerin yeteneğinin genetik bir içeriğinin olduğunu göstermektedir. Bu yüzden kronik olarak bulaştırılmış BALB/c fareleri gebelik sürecinde *T.gondii*'ye tekrar maruz kalsalar bile yavrularına hastalığı bulaştırmamışlardır. Doğuştan gelen hastalıkları önlemede bağışıklık tepkisinin çeşitli içeriklerinin rolü üzerine çalışmak insanlarda zordur (16).

***T.gondii* enfeksiyonları gebelik esnasında bir yan etki olabilir**

Gebelik sırasında ortaya çıkan *T. gondii* enfeksiyonları, görünüşte sağlıklı olan gebelerde fetüse bulaşma riski taşır ve sonuçları trimester dönemine göre değişiklik gösterebilir. İlk trimesterde enfeksiyon, düşük riskini önemli ölçüde artırırken, bu risk ikinci ve üçüncü trimesterde de devam eder. Ancak, düşük riski ilk trimesterde daha yüksektir. Buna karşılık, doğuştan enfeksiyon riski gebelik sürecinin ilerlemesiyle artar. Bu oran, birinci trimesterde %25, ikinci trimesterde %54 ve üçüncü trimesterde %65'e kadar çıkabilir (16).

Gebelik haftası ilerledikçe fetüste konjenital enfeksiyon riski artsa da, fetüste meydana gelen hasarların şiddeti azalma eğilimi gösterir. Konjenital toksoplazmoz, ilk trimesterde spontan düşüklükler, ölü doğumlar ve erken doğum gibi sonuçlara yol açabilir. Ancak annenin tedavi edilmesi durumunda konjenital enfeksiyon riskinin %60 oranında azaldığı bildirilmiştir. Erken tedavi edilmeyen vakaların %85’inde gelişme geriliği veya ileri yaşlarda koryoretinit gibi komplikasyonlar gelişebilmektedir (5).

Konjenital toksoplazmozda en sık tutulan organ gözlerdir. Uveada melanin pigment dağılımının bozulması ve retinada sarı-beyaz renkli ödemli retinitis bulguları tespit edilebilir. Gebeliğin erken dönemlerinde enfeksiyon geçirenlerde mikroftalmi ve optik sinir atrofi gibi gözle ilgili ciddi hasarlar oluşabilir. Ayrıca iç kulak tutulumu, yaşayan çocuklarda sağırılık gelişimine neden olabilir. İskelet kasları ve miyokard da enfeksiyona sıklıkla katılır. Akciğerlerde viral pnömoniye andıran orta dereceli pnömonitis bulguları tespit edilebilir. Karaciğer genellikle büyür ve safra stazı, ekstrapredüller kan yapım odakları, nadiren distrofik kalsifikasyon ve portal fibrozis gibi patolojik değişikliklere uğrayabilir. Buna karşılık, pankreas, genital organlar, üriner sistem ve gastrointestinal sistem genellikle enfeksiyondan etkilenmez (17).

Nörolojik komplikasyonlar arasında epilepsi, psikomotor gerilik ve zihinsel gerilik yer alır. Bu belirtiler doğumdan hemen sonra ortaya çıkmayabilir; haftalar, aylar hatta yıllar sonra görülebilir. Yenidoğanların yaklaşık %75’i doğum sırasında asemptomatiktir. Ancak yenidoğanda hidrosefali, intrakraniyal kalsifikasyonlar, koryoretinit (klasik triad), ateş, hipotermi, kusma, anemi, sarılık, döküntü, trombositopeni kaynaklı peteşiler, ensefalit, pnömoni, mikrosefali, mikroftalmi, sağırılık, lenfadenopati ve hepatosplenomegali gibi bulgulara rastlanabilir (5).

***T.gondii* enfeksiyonlarının gebelik üzerindeki ters etkileri**

İnsanlara nispeten farelerdeki gebelik süreci kısa olmasına rağmen BALB/c modelinde birçok benzerlikler gözlemlenmektedir. İlk trimester sürecindeki enfeksiyon normal olarak ya düşük ya da fetüsün emilimine neden olur. Ancak 2.trimesterde enfeksiyon normal olarak yavruların ortalama %50’sine bulaşır. Th1 etkisini uyararak için *T.gondii*’nin yeteneği Th2 bias düşük olduğunda ilk trimester sürecinde düşüğe sebep olmak için yeterli olabilir. 3.trimesterde gebelik güçlü bir Th2 kutuplaşmasına sebep olduğundan bu uyarılmış Th1 tepkisinin *T.gondii* karşı tepkisi olabilir ve düşüğü engelleyebilir (16).

Konjenital enfeksiyonlarda immün cevap düşüklüktür

Doğuştan enfekte olmuş insanlar, gözlemlenen erişkinlerle kıyaslandığında *T.gondii* ‘ye immün cevabında bir azalma gelişir. *T.gondii*’ye immün cevabın bir derece bozulması halinde, doğuştan enfekte olanların yaşamlarının kalıcılığı muhtemel olur. Tekrarlayan oküler hastalıklar doğuştan enfekte olmuş insanlarda yaygındır. Şuan konjenital hastalıklar yüzünden oluşan oküler hastalıkların hepsinin farkedilmemesine rağmen, *T.gondii* hastalığı kazanmış erişkin insanlarda tekrarlayan oküler hastalık oldukça nadirdir (16).

TANI

Klinik olarak belirtilerinin çok farklı değişkenlere sahip olduğundan ve hastalığın kendine özgü karakteristik bir bulgusu olmamasından dolayı öncelikle toksoplazmozdan şüphe edilmelidir. Hasta, bulaş kaynakları ve risk faktörleri açısından dikkatle araştırılmalıdır. Toksoplazmozdan şüphe duyulması halinde etken izolasyonu ve serolojik testler yapılmalıdır.

Tanı yöntemleri olarak aşağıdakiler uygulanmaktadır:

1. Direkt tanı:

- Etkenin izolasyonu
- Etkenin genomik yapısının saptanması
- Etkenin histopatolojik olarak dokuda gösterilmesi

2. İndirekt tanı:

T. gondii'ye karşı antikor tespit etmeye yönelik yapılan serolojik testlerdir. Piyasada toksoplazma parazitinin antikorlarını bulmaya yönelik çeşitli ticari kitler vardır. Kullanılan testler ELISA IgG ve M, Sabin-Feldman Boya testi (SF), indirekt floresan antikor testi (IFAT), lateks aglütinasyon testi, direkt aglütinasyon testi ve mmunosorbent agglutinasyon assay (ISAGA) IgM'dir. Ayrıca antikor bağlanma gücünü ile enfeksiyonun zamanını destekleyen avidite testleri de kullanılmaktadır (5).

KORUNMA ve KONTROL

Bu enfeksiyon ciddi ölümlere, bakım maliyetlerine, üretimin azalmasına ve can yanmasına sebep olur. Bu enfeksiyondaki patojenleri ve koruyucu mekanizmayı anlamak bu hastalığı önlemek için stratejiler geliştirmeye yardımcı olacaktır (16).

İnsanlarda korunma

Enfeksiyon kontrolü için hijyen, pişirme alışkanlıkları ve veteriner hizmetleri konularında farkındalığın artırılması gerekmektedir. Ayrıca, vahşi yaşam ve evcil hayvanlar arasındaki enfeksiyon geçişine yönelik izleme sistemleri kurulması önemlidir (18). İmmünyetmezliği olan ya da immün sistemi baskılanmış hastalarda ve seronegatif gebe kadınlarda korunma çok büyük önem taşımaktadır. Çiğ veya az pişmiş et ve çiğ etten yapılmış ürünlerin yenmemesi önerilmektedir. Etin 66 °C'nin üzerinde en az 4 dakika pişirilmesi ve -20 °C'de 24 saat dondurulması ile doku kistlerinin öldüğü gösterilmiştir. Çiğ et ve sebzelerle temastan sonra ellerin yıkanması önemlidir. Ookistlerin bulunma olasılığı olan sebze ve meyvelerin iyice yıkanması önerilmektedir. Çiğ yumurta yemekten ve pastörize olmayan süt içmekten

sakınılmalıdır. Suda 5 dakika kaynatılmış ve sahadanda 3 dakika pişirilmiş yumurtada canlı parazit bulunabildiği bildirilmiştir. Sahipsiz sokak kedilerinin barınaklara alınarak izole edilmesi ve kedilerle sıkı temastan kaçınılması önerilmektedir. Su ve sebzelerin, kasaplık hayvan yemlerinin kedi dışkısı ile kirlenmesini önlemek için gerekli özen gösterilmelidir. Ookistlerin, suda 5 dakika kaynatıldığında öldüğü gösterilmiştir. Organ transplantasyonu sonrası immün sistemi baskılanmış olan hastalarda lökositte zengin kan ve kan ürünleri transfüzyonu sonucu toxoplazmoz gelişiminin ölümcül olduğu bildirilmiştir. Profilaksi amacıyla pyrimethamine 25 mg/gün, altı hafta süreyle kullanımı önerilmektedir.

Konjenital toxoplazmoz, henüz mevcut koruyucu bir aşısı olmamasına rağmen önlenabilir bir hastalıktır. Bu yüzden ilgili doktorların sorumluluğunda, gebe kadınların enfeksiyondan korunması için eğitilmeleri gerekmektedir. Sistematik serolojik tarama programına uygun testler kullanılmalı ve sonuçlar doğru olarak yorumlanmalıdır. Özgül IgG ve IgM antikor sonuçlarına göre gebe kadınların izlenmeleri önerilmektedir. Doğum öncesi tanı yöntemlerinin uygun kullanımının, klinik olarak belirgin konjenital toxoplazmoz insidansını önemli derecede azalttığı bildirilmiştir (11).

Hayvanlarda korunma

Köpek ve kedigiller de dahil tüm karnivor hayvanların çiğ et ve et ürünleri, sakatat ve kemik yemelerinin engellenmesi gerekmektedir. Özellikle kedi sahiplerinin kedilerini çiğ karaciğerle besleme alışkanlıkları toxoplasmosis bakımından büyük risk oluşturmaktadır. Kediler için fare, rat, tavşan, kuşlar önemli enfeksiyon kaynağı olup, bu sebeple kedilerin avlanarak beslenmesinin önüne geçilmesi gerekmektedir (1). Etle bulaşık olan alet ve malzemelerin de sabunlu sularla yıkanması gerekir. Hayvanlara verilen etler 67 °C'de pişirilmelidir. Kediler kuru, pişmiş ve konserve yiyeceklerle beslenmeli, sebze ve meyveler çok iyi yıkanmalı, çiftliklerde ölen hayvanlar hemen ortadan kaldırılmalı, hayvanat bahçelerinde kedi ve kedigillerin kafesleri ve kullanılan kürek, süpürge gibi aletler düzenli olarak 67 °C'lik suda 10 dakika süre ile düzenli aralıklarla yıkanmalı veya otoklavlanmalıdır. Hayvan bakıcıları maske kullanmalıdır. Kedigillerin dışkıları günlük olarak temizlenmelidir (11, 19).

KAYNAKLAR

1. Dumanlı N, Aktaş M, Altay K. Toxoplasmosis. In: Özcel MA, İnci A, Köroğlu E ve ark. (ed.'ler). Veteriner Hekimiğinde Parazit Hastalıkları, İzmir:Türkiye Parazitoloji Derneği Yayını No:24, 2013. p:1095-1099.
2. Gürüz Y, Özcel MA. Toxoplasmosis. Özcel'in Tıbbi Parazit Hastalıkları. Özcel MA, editör. İzmir: İzmir Parazitoloji Derneği, Metabasım; 2007. p.141-89.
3. Pullukçu H. Toksoplazmoz. Kurt H, Gündeş S, Geyik MF, editörler. Enfeksiyon Hastalıkları. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri; 2013.p.419-23.

4. Yalçın A, Serin D, Alagöz G, Kükner Ş. Akut Toksoplazmik Üveit. Türkiye Klinikleri J Ophthalmol 2007, 16. p. 127-129.
5. Pullukçu H. Toksoplazmoz. Türkiye Klinikleri J Inf Dis-Special Topics 2015;8(2):p.41-49.
6. Akarsu GA. Toksoplazmoz Tanısı. Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası 2008, 61 (3). p.180-190.
7. Pullukçu H. Toksoplazmozis. Taşova Y, Arman D, editörler. Gebelik ve İnfeksiyon. Ankara: Bilimsel Tıp Yayınevi; 2015. p.455- 76.
8. Remington JS, McLeod R, Thulliez P, Desmonts G. Toxoplasmosis. In: Remington JS, Klein J, eds. Infectious diseases of the fetus and newborn infant. 5th ed. Philadelphia, Pa: W.B. Saunders; 2001. p.205-346.
9. Montoya JG, Liensfeld O. Toxoplasmosis. Lancet 2004;363(9425):p.1965-76.
10. Çelebi S, Öcal M. Toksoplazmozis. Güncel Pediatri 2004;2:152-156.
11. Hökelek M, Açıcı M. Toxoplasmosis. .In: Doğanay M, Altıntaş N, (ed'ler). Zoonozlar, Bilimsel Tıp Yayınevi, 2009, Ankara, p: 803-830.
12. Aktaş M, Dumanlı N, Babür C, Karaer Z, Öngör H. Elazığ yöresinde Gebe ve Yavru Atmış Koyunlarda Sabin-Feldman (SF) Testi ile *Toxoplasma gondii* yönünden Seropozitiflik Oranının Belirlenmesi. Turk J Vet Anim Sci;24 (2000):239-241.
13. Leblebici A, Yıldız K. Silopi'de Koyunlarda *Toxoplasma gondii*'nin Yaygınlığının İndirekt Floresans Antikor Testi (IFAT) ile Serolojik Olarak Belirlenmesi. Türkiye Parazitoloji Dergisi, 2014; 38:1-4.
14. Akkan HA, Tütüncü M, Karaca M, Çiftçi İH, Yüksek N, Ağaoğlu Z. Van yöresinde Atlarda *Toxoplasma gondii*'nin Seroprevalansı. YYÜ. Vet. Fak. Derg. 2001, 12 (1-2):43-44.
15. Kennerman E, Kaya G, Gazyağcı S, Babur C, Kılıç S. Bursa Bölgesindeki sığırlarda Toksoplazmosisin Serolojik Tanısı ve Anti-Toxoplasma gondii Antikor Seroprevalansının Belirlenmesi. Vet. Bil. Derg. (2006), 22, 1-2: 45-49.
16. Roberts CW, Prasad S, Khaliq F, Et al. Adaptive Immunity and Genetics of the Host Immune Response. In: Louis Weiss LM, Kim K, eds. *Toxoplasma gondii* 2014. Elsevier Ltd.China 2014.p.821-967.
17. Uludağ S, Madazlı R, Şen C, Ocak V. Gebelik ve Toksoplazmozis'de Klinik Yöntem. Perinatoloji Dergisi 1993.1: 165-169.
18. Omonijo AO, Kalinda C, Mukaratirwa S. *Toxoplasma gondii* infections in animals and humans in Southern Africa: A systematic review and meta-analysis. Pathogens, 2022;11(2), 183.
19. Stelzer S, Basso W, Benavides J, Ortega-Mora LM, Maksimov P, Schares G. *Toxoplasma gondii* infection and toxoplasmosis in farm animals: Risk factors and economic impact. *Food and Waterborne Parasitology*, 2019;15, e00037.

DİJİTAL EBEVEYNLİK İLE İLGİLİ LİTERATÜRE YANSIYANLAR VE PEDIATRİ HEMŞİRESİNİN ROLLERİ

MSc. Büşra Nur SARI

Karaman Eğitim ve Araştırma Hastanesi,3.Basamak Cerrahi Yoğun Bakım Ünitesi
saribusranur3@gmail.com , ORCID: 0000-0003-0868-1501

Prof. Dr. Ayşe Sonay TÜRKMEN

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi
asonaykurt@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3716-3255

Öz: Bu çalışma dijital ebeveynlik ile ilgili literatüre yansıyanları ve pediatri hemşiresinin rollerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Günümüzde dijital kültürün giderek yaygınlaşması ile birlikte özellikle çocuklar vakitlerinin büyük bir kısmını siber alanlarda geçirmektedir. Bu bağlamda bakıldığında çocukları teknolojinin risklerinden korumak için ebeveynlere büyük sorumluluklar düşmektedir. Çocukların yaşına ve gereksinimine göre, teknolojinin sağladığı avantajlar ve teknolojinin riskleri göz önünde bulundurularak dijitali doğru ve etkili kullanma becerileri kazandırılmalıdır. Ebeveynlere dijital ebeveynlik becerilerinin kazandırılması pediatri hemşireliğinin değişen ve gelişen rolleri arasındadır.

Bu becerinin kazandırılmasının yanı sıra ebeveynler çocuklarının ekran denetimini yeterince sağlayamadığı zaman, çocukların her anını sosyal medyada paylaşımları sonucunda bir istismarcı tarafından çocuğun çevrimiçi cinsel istismara maruz kalmasına neden olabiliyor. Bu durum da teknolojik ihmal ve istismarın örneklerinden biridir. “Shareting (paylaşan ebeveynlik)” sonucunda ebeveynler kendilerini çok iyi hissetseler bile, çocukların gelişimsel ve ruhsal bozukluklar yaşamasından, dijital kimlik hırsızlığına kadar varan olumsuz sonuçlar yaşamasına sebep olabilmektedir. Ebeveynler bu konularda daha dikkatli ve duyarlı olmalıdırlar.

Sonuç olarak dijital dünyanın taşıdığı riskler çocuk sağlığını olumsuz etkilediği için pediatri hemşireleri teknolojiye bağlı gelişmeleri yakından takip etmeli ve sağlıktan sapma durumlarını en kısa zamanda tespit edip müdahale edebilmelidir. Pediatri hemşireleri araştırmacı, eğitici ve savunuculuk rollerini kullanarak ebeveynlere dijital ebeveynlik becerileri kazandırmalıdırlar ve bu becerileri desteklemelidirler. Tüm ebeveynler olmak üzere özellikle ileri yaş, çocukları ile iletişimi zayıf olan ve teknolojiyi kullanma becerisi iyi olmayan ebeveynlerin dijital ebeveynlik konusunda eğitim ve danışmanlık alması sağlamalıdır.

Anahtar Kelimeler: Dijital ebeveynlik, pediatri hemşiresi, çocuk

LITERATURE ON DIGITAL PARENTING AND THE ROLE OF THE PEDIATRIC NURSE

MSc. Büşra Nur SARI

Karaman Training and Research Hospital, 3rd Level Surgical Intensive Care Unit

saribusranur3@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0868-1501

Prof. Dr. Ayşe Sonay TÜRKMEN

Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Health Sciences

asonaykurt@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3716-3255

Abstract: This study was conducted to examine what is reflected in the literature on digital parenting and the roles of pediatric nurses. Today, with the increasing prevalence of digital culture, especially children spend most of their time in cyber spaces. In this context, parents have great responsibilities to protect children from the risks of technology. According to the age and needs of children, they should be provided with the skills to use digital correctly and effectively, taking into account the advantages and risks of technology. Providing digital parenting skills to parents is among the changing and developing roles of pediatric nursing.

In addition to gaining this skill, when parents cannot adequately control their children's screens, sharing every moment of their children on social media can cause the child to be exposed to online sexual abuse by an abuser. This is one of the examples of technological neglect and abuse. As a result of “shareting” (sharing parenting), even if parents feel very good about themselves, it can cause children to experience negative consequences ranging from developmental and mental disorders to digital identity theft. Parents should be more careful and sensitive about these issues.

In conclusion, since the risks of the digital world negatively affect child health, pediatric nurses should closely follow technology-related developments and should be able to detect and intervene in cases of deviation from health as soon as possible. Pediatric nurses should provide parents with digital parenting skills and support these skills by using their roles as researchers, educators and advocates. All parents, especially older parents, parents who have poor communication with their children and parents who do not have good technology skills should receive training and counseling on digital parenting.

Keywords: Digital parenting, pediatric nurse, child

1.GİRİŞ

Teknolojideki ilerlemeler birlikte dijital dünyadaki değişimleri de beraberinde getirmektedir. Bu değişiklikler, insanların hayatını sosyokültürel ve siyasal alanlarda birçok farklı açıdan etkilemektedir. Dijital dünyada yaşanan bu değişim ve gelişmelerin önümüzdeki yıllarda da devam edeceği öngörülmektedir (Kuyucu, 2017). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından hane halkı bilişim teknolojileri 16-74 yaş kullanımına ilişkin temel göstergeler araştırma sonuçlarına göre internet erişimine sahip hane oranı 2013 yılında %49,1 iken, 2023 yılında %95,5 olduğu görülmektedir (Anonim, 2023a). Aynı şekilde düzenli internet kullanan bireylerin sayısının 2013 yılında %39,5 iken, 2023 yılında %87,1 olmuştur. TÜİK verilerinden de anlaşılacağı gibi gün geçtikçe insanlar dijital dünyanın imkanlarını daha çok kullanmakta ve dijital dünyadan etkilenmektedirler. Hatta dijitalleşmeye karşı olan insanlar bile banka, alışveriş ve iletişim gibi yaşamlarının pek çok alanında, bu dünyanın avantajlarından ve imkanlarından faydalanmaktadır (Küçükvardar ve Tıngöy, 2018; Taipale ve Hanninen, 2018; Darinskai ve Moskviceva, 2019).

Teknoloji alanındaki değişim ve gelişmelerin kuşaklar üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulduğunda, teknolojiyle iç içe büyüyen ve çeşitli isimlerle anılan (Uzun, 2016), "Z kuşağı" (Twenge ve ark., 2010), "Net kuşağı" veya "Dijital yerliler" olarak bilinen 2000-2020 yılları arasında doğmuş olan bu kuşak, dijital çağda yaşamaktadır ve bu çağa uyum sağlamıştır. Dijital çağın bir parçası olan Z kuşağı, teknoloji odaklı bir yaşam tarzına sahip, sosyal medyayı aktif olarak kullanan, yüksek teknoloji iletişimi döneminde yaşayan, sorunlarını teknolojiyi kullanarak çözme yeteneğine sahip ve sürekli bağlantıda olan bir kuşaktır (Erten, 2019).

Literatürde son kuşak olarak kabul gören kuşak, 21. yüzyılın yani teknolojinin ve dijital dünyanın içine doğan alfa kuşağıdır. 2010 yılı ve sonrası dünyaya gelenler Alfa Kuşağı olarak isimlendirilmektedir. Bu kuşağın başlangıç tarihi olarak 2010 yılının baz alınmasının sebebi, dijital çağa damgasını vuran icatların ve uygulamaların birbirine yakın tarih aralıklarıyla bu dönemde gerçekleşmesidir. Bu dönemde, ilk nesil IPAD kullanıma sunulmuş ve "Instagram" yeni bir sosyal ağ olarak yayılmaya başlamıştır (McCrinkle, 2020). Alfa kuşağının büyük bir çoğunluğu zamanlarını doğadan uzak ve teknolojiyle iç içe geçirmektedirler. Alfa kuşağı çocuklar daha çok bireysel oyun oynamaktadırlar ve oyun kurma becerileri önceki kuşaklarla karşılaştırıldığında daha zayıftır. Alfa kuşağının okula giden çocukları ise yaşanan "Covid-19" Pandemisi nedeniyle eğitimlerine artık evlerinde çevrimiçi olarak devam etmişlerdir. Bu da onları evlerine daha da bağlı hale getirerek yaşlıları ile etkileşimlerini azaltmıştır (Güzel, 2021).

Dijital dünyada büyüyen çocukların siber sağlıklarını korumasında ve geliştirmesinde ebeveynlere düşen rol büyüktür. Ebeveynlerin teknoloji çağının getirdiği şartlarla değişen rolleri ile birlikte “internet ebeveyni”, “siber ebeveynlik” ya da “çevrimiçi ebeveyn” olarak da ifade edilen dijital ebeveynlik rollerini de öğrenmeleri gerekmektedir (Kaya ve Mutlu Bayraktar, 2021). Ebeveynlerin büyük çoğunluğu çocuklarının internette hangi platformları ziyaret ettiğini ve bu platformlarda ne kadar süre geçirdiğini sorgulamadan, yalnızca teknolojik cihazlara ulaşımını sınırlandırarak çocuklarını siber alanın tehditlerine karşı koruduğunu düşünmektedir. Fakat bu bakış açısı tek başına yeterli olmamakta, işe yaramamakta, çocuk ve gençlerin siber zorba veya siber mağdur olmalarını önleyememektedir (Özsoy ve Atılgan, 2018). Bu sebeple ebeveynler dijital yetkinliklerini geliştirmelidirler.

2. DİJİTAL EBEVEYNLİK

Günümüzde hayatımızın tam orta yerine yerleşen, çocukları ekran başına kilitleyen dijital kültür çocukların siber alanlarla içi içe bir çocukluk yaşamasına sebep olmaktadır. Çocukların kullandıkları teknolojiler sürekli değiştiği için ebeveynler bu değişimlere ayak uydurmalıdırlar. Çocukların dijital dünyadaki bilgi ve beceriden yoksun bırakılmadan en doğru şekilde bilinçli kullanımını sağlamak ebeveynlerin sorumluluğundadır (Biricik, 2021). Teknolojinin risklerinden dolayı uzak durmak veya tamamen yasaklamak uzun vadede yarar sağlamayacaktır. Bu nedenle yasaklamadan risk ve sunduğu imkânlar değerlendirilerek, çocuğun yaşına ve gereksinimine uygun teknolojik cihazın kullanımı düzenlenmelidir. Bu dijitali doğru ve etkin kullanma bilinci oluşturulması ebeveynlerin sorumlulukları arasındadır. Ebeveynlerin teknoloji çağının getirdiği şartlarla değişen rolleri ile birlikte “internet ebeveyni”, “siber ebeveynlik” ya da “çevrimiçi ebeveyn” olarak da ifade edilen dijital ebeveynlik rollerini de öğrenmeleri gereklidir (Kaya ve Mutlu Bayraktar, 2021). Ebeveynlerin geneli çocuklarının internette nerelerde gezindiği, hangi platformlarda vakit geçirdiğini sorgulamadan, kullanım süresini veya dijital cihazlara erişimini kısıtlayarak çocuklarını dijital alanın tehditlerine karşı koruduğunu düşünmektedir. Fakat bu bakış açısı genel olarak bakıldığında işe yaramamakta, çocuk ve gençlerin siber zorba veya siber mağdur olmalarını önleyememektedir (Özsoy ve Atılgan, 2018). Bu sebeple ebeveynler dijital yetkinliklerini geliştirmelidirler.

Dijital ebeveynlik “Dijital çağın gereksinimlerine göre hareket eden, dijital araçları kullanabilen, dijital ortamlardaki olanakların farkında olan ve çocuğunu bu ortamlardaki risklere karşı koruyabilen, gerçek hayatta kişilik haklarına saygı duyulduğu gibi sanal ortamda da aynı şekilde davranılması gerektiğini çocuğuna aktaran ve teknolojik gelişmeleri takip eden

ebeveynler” olarak tanımlanmıştır (Yurdakul ve ark., 2013). Dijital ebeveynliğin genel amacı çocukları çevrimiçi ortamlardaki tehditlere karşı korumak ve çocuklarına örnek olarak dijital dünyada nasıl davranmaları gerektiğini göstermektir (Zeybekoğlu ve ark., 2020). Yurdakul ve ark. (2013) dijital ebeveynlerin rollerini; dijital okuryazarlık kazanma ve kazandırma, dijital dünyanın farkında olma, dijital ortamda kontrol sahibi olma, dijital etik kuralları uygulama ve yenilikçilik olarak belirtmişlerdir. Dijital okuryazarlık; Ribble tarafından “teknoloji ve teknoloji kullanımı hakkında öğretme ve öğrenme süreci” olarak tanımlanmıştır. Dijital okuryazarlık internet ortamında bilgiye ulaşmanın ötesinde edinilen bu bilginin günlük yaşantıda kullanılabilmesini kapsamaktadır. Bunun yanında internet ortamında mahremiyet ve güvenlik konularına hâkim olmayı da içerir. Dijital okuryazar bir ebeveyn hem teknolojik araç ve gereçleri kullanabilmeli hem de dijital alandaki ulaştıkları bilgilerin doğruluğunu sorgulayabilmeli paylaşabilmeli, bu alanın tehditlerini ve risklerini fark edebilmelidir (Karabacak ve Sezgin, 2019). Dijital Etik; İnternet ortamındaki davranış standartlarıdır. Çevrimiçi ortamda iletişimin nasıl olması gerektiğini diğer internet kullanıcılarına nasıl davranılması gerektiğini ve karşılaşılan etik sorunlardan nasıl korunmak gerektiğini içerir (Ribble, 2015).

Dijital ortamda etik davranışlar arasında diğer insanlara saygı duymak, siber zorbalıktan kaçınmak, diğer insanlar üzerinde olumsuz etki bırakmadan interneti kullanmak sayılabilir (Sari ve ark., 2020). Siber zorbalığı önlemede dijital ebeveynlerin; dijital okuryazar olmaları, internette etik davranışları benimsemeleri ve çocuklarına aktarmanın yanında dijital dünyanın avantaj ve dezavantajlarının farkında olması beklenmektedir. İnternetin iletişimi kolaylaştırması ve günlük yaşamdaki birçok işin daha hızlı yapılması avantajlarıdır ancak siber zorbalık ve siber mağduriyet gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Dijital dünyada kontrol; teknoloji çağının ebeveynlere getirdiği sorumluluk çocuklarının yalnızca teknolojiye erişimini sağlamak değil etkin yararlı ve güvenli kullanıp kullanmadığını desteklemektedir (Abdul Rahman ve ark., 2020).

Ebeveynin çocuğunun teknolojiyi nasıl kullandığını, hangi sosyal platformlarda gezdiğini, kişisel bilgilerini paylaşıp paylaşmadığını ve tanımadığı kişilerle arkadaşlık kurup kurmadığını takip etmelidir. Yenilikçilik, hızlı gelişen teknolojiye dönemselsel olarak uyum sağlayamayan ebeveynlerin teknik gelişmeler, güvenlik programları ve araçları hakkında ve çocuklar arasında popüler içerik hakkında temel bilgiye ve beceriye gereksinimleri vardır. Yani ebeveynler yenilikçi olmalı ve bu değişimlere uyum sağlamalıdır (Yurdakul ve ark., 2013).

12-17 yaş çocuğa sahip olan annelerin dijital ebeveynlik tutumları ile aile-çocuk internet bağımlılığı arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla yapılan çalışmanın sonuçlarına göre; annelerin yarısından çoğunun günde 0-2 saat aralığında teknolojik cihaz kullandığı sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmaya katılım sağlayan annelerin çocuklarının ise yaklaşık dörtte birinin günde 2-4 saat aralığında; beşte birinin de 6 saat ve üzeri teknolojik cihaz kullanımının olduğu saptanmıştır. Ayrıca araştırmaya katılan hemen hemen her annenin bir telefonu, her çocuğun da bilgisayar, laptop veya tabletinin olduğu söylenebilmektedir. Çocukların teknolojik cihazı kullanma sebeplerine bakıldığında ise online dersler ilk sırada yer almaktadır. Sonra oyun oynamak ve video izlemek sıralamayı takip etmektedir. Anne babaların eğitim durumu ile çocukların ve annenin teknolojik cihaz kullanım süreleri, internet kullanım kurallarına, çocuk koruma kilidine sahip olma, herhangi bir teknolojik cihaza sahip olma arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur (Arıcı Doğan ve Döğer, 2023).

Akay ve Kayılı'nın (2023) yaptığı çalışma sonucunda ebeveynlerin dijital ebeveynlik tutumu ile ergenlerin internet bağımlılığı düzeyleri arasında pozitif anlamlı ilişki olduğu saptanmıştır. 17-18 yaş grubu ergenlerin duygularını yönetme becerileri ile ebeveynlerinin dijital ebeveynlik tutumu arasında negatif yönlü orta düzeyde anlamlı ilişki saptanmıştır.

Çelikbaş'ın (2023) yaptığı çalışma sonucunda annenin internet bağımlılığı arttıkça çocuğun da internet bağımlılığının o düzeyde arttığı saptanmıştır. Anneler internette geçirdikleri süre bakımından çocuklarını etkilemektedirler. Annenin dijital farkındalığının artması çocuğun algılanan internet bağımlılığını etkilemektedir. Aile – çocuk internet bağımlılığı düzeyi ile annenin eğitim düzeyi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

Ebeveynlerin zihinsel refahı ve sosyodemografik özellikleri ile dijital ebeveynlik farkındalığı arasındaki ilişkileri açıklamayı amacıyla yapılan çalışma sonucunda; ebeveynlerin zihinsel refahı, dijital ebeveynlik farkındalığıyla orta düzeyde ve anlamlı ilişki saptanmıştır. Ayrıca ebeveynlerin internet kullanım yıllarının fazla olması, eğitim ve gelir düzeylerinin yüksek olması, genç olmaları ve çocuklarının dijital araçları gereksiz kullandığı algısı dijital ebeveynlik farkındalığı ile olumlu yönde ilişkilidir (Pazarcıkcı ve ark., 2024).

Ergenlerin ebeveynleri, çocuklarının davranışları ve gelişimi ile ilgili çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Davranışsal ebeveyn eğitimi programları, olumsuz çocukluk deneyimlerini ve ergenlik dönemindeki diğer yaygın davranış sorunlarını azaltmak için etkili stratejiler olabilmektedir. İnternet, indirilen dijital içerik, kısa mesaj, tablet ve video görüşmesi

aracılığıyla sunulanlar da dahil olmak üzere dijital davranışsal ebeveyn eğitim programı erişilebilirliği önündeki engelleri (örneğin maliyet ve ulaşım) ortadan kaldırarak geniş bir ergen ebeveynleri kitlesine ulaşmak için eşsiz bir fırsat sunabilecektir (Morgan ve ark., 2023).

3. PEDIATRİ HEMŞİRESİNİN ROLLERİ

Çocuk sağlığını hava kirliliği, kazalar veya diğer travmalar, temiz içme sularına ulaşamama, madde ve diğer bağımlılıklar gibi birçok durum nasıl olumsuz olarak etkiliyorsa dijital dünya ve beraberinde getirdiği birçok durum da olumsuz etkilemektedir. Çocukları dijital dünyanın taşıdığı bu risklerden koruma noktasında ebeveynlere ve topluma düşen rol büyüktür (Özdemir ve Akar, 2011). Çocuklar ebeveynlerinin bilgilerine ve deneyimlerine ihtiyaç duyarlar. Ebeveynlerin çocuklarına destek olmaması durumunda çocuklar biyopsikososyal zararlar görebilirler ve ebeveynlerin ihmali sonucu istismara maruz kalabilirler (Karaman ve Ayhan, 2021). İşte tam da bu noktada çocuk sağlığı hemşirelerine önemli roller düşmektedir. Ebeveynlerin dijital yetkinliklerini geliştirmesinde ve dijital ebeveynlik rolünün kazandırılmasında pediatri hemşirelerine önemli roller düşmektedir. Pediatri hemşirelerinin var olan rollerine çağın getirilerine ayak uyduran toplumsal değişimlere uygun şekilde yenileri eklenmektedir (Şenol, 2018). İçinde bulunduğumuz dijital çağda ise pediatri hemşirelerine çocuk ve aile sağlığını dijital dünyanın risklerinden korumaya yönelik yeni görevler eklenmiştir. Çocukların sağlığını olumsuz etkileyebilecek internetin dezavantajlarından kaçınmasını sağlayarak interneti en sağlıklı şekilde kullanabilmesi amacıyla ebeveynlere dijital ebeveynlik becerisinin kazandırılması pediatri hemşireliğinin rolüdür (Yurdakul ve ark., 2013).

Pediatri hemşireliğinin temel hedefi çocuğun; aile ve toplum içinde, fiziksel, zihinsel, duygusal ve sosyal yönden sağlığını ve esenliğini koruma, geliştirme, hastalık durumunda ise iyileştirmeye yönelik kapsamlı hemşirelik bakımı sağlamaktır (Özdemir ve Akar, 2011). Bu doğrultuda çocuk sağlığını riske atabilecek her türlü konu pediatri hemşiresinin rolleri arasında yer alabilir. Teknolojinin gelişimi ve dijitalleşme ile birlikte çocuk sağlığını riske atan unsurlarda değişimler meydana geldiğinden pediatri hemşirelerinin de bu değişime ayak uydurması gerekmektedir (Şenol, 2018) Çocukların internetin sunduğu avantajları kullanabilmesi, sağlığını olumsuz etkileyen davranışlardan uzak kalmasını sağlamak amacıyla ebeveynlere dijital ebeveynlik becerisinin kazandırılması da pediatri hemşireliğinin rolüdür (Yurdakul ve ark., 2013).

Teknolojik ihmal ve istismar davranışları çok geniş bir spektrumda incelenmektedir. Çocuğun ekran denetiminin yapılmaması, ebeveynin işlerini rahatça yapabilmesi için çocuğu

oyalamak adına çocuğu teknolojik cihazla baş başa bırakması, çocuğunun her anının fotoğraflarını sosyal platformlarda paylaşması, çocukla ilişkileri düzenlerken ödöl veya ceza olarak sunulması gibi durumlar, bir istismarcı tarafından çevrimiçi cinsel istismara maruz kalması gibi davranışlar teknolojik ihmal ve istismara girmektedir (Karaman ve Ayhan, 2021). Hars ve arkadaşları ebeveynlerin bir kısmının teknolojiyi “dijital bir emzik olarak” kullandıklarını ifade etmişlerdir. Günümüzde çoğu zaman ebeveynler çocuklarını eğitimi için, araştırma yapması amacıyla teknolojik cihazlara yönlendirmektedirler. Aynı zamanda ebeveynler zaman zaman ev işlerini daha rahat yapmak, kendilerine vakit ayırmak, misafirlige gittiklerinde çocukları tarafından rahatsız edilememek çocuklarını ağladıklarında susturmak, onları oyalamak, yemek yedirmek, oyun oynamaları için veya ödöl olarak da çocuklarını teknolojik cihazlara yönlendirebilmektedirler (Aksoy, 2020; Darga, 2021).

Son zamanlarda güncel konulardan biri olan “sharenting” (paylaşan ebeveynlik), ebeveynlerin çocuklarının fotoğraflarını ve kişisel bilgilerini çevrimiçi alanlarda paylaşması da çocuk sağlığını olumsuz etkileyen durumlardan biridir. Ebeveynler çocuklarının fotoğraflarını paylaştıklarında her ne kadar iyi hissetseler de çocukta ruhsal ve gelişimsel bozukluklara, ebeveynin çocuğu ile ilişkisinin bozulmasına ve dijital kimlik hırsızlıklarına sebep olabilmektedir. Ebeveynlerin bu konuda daha duyarlı ve dikkatli olmaları gerekmektedir (Ayhan ve Öztürk, 2021). Pediatri hemşireleri, çocuğun bulunduğu her alanda sağlığı geliştirme faaliyetlerinin bir parçası olarak araştırmacı, eğitici ve savunucu rollerini kullanarak dijital ebeveynliğe yönelik farkındalık kazanmada ebeveynlere destek olabilirler (Kavitha ve ark., 2021).

Çeşitli etmenlerden dolayı ailelerin ebeveynlik dijital ebeveynlik farkındalıkları yetersizdir. Bu etmenlere örnek olarak; ebeveynin ileri yaşı, teknoloji kullanım süresinin artması ve aile içi iletişimin yetersiz olması verilebilir. Annenin babaya göre dijital ebeveynlik farkındalığı daha fazladır (Manap, 2021). Dijital ebeveynliği olumsuz etkileyen bu etmenleri bilen pediatri hemşireleri ebeveynlerin farkındalık kazanmasını sağlamak amacıyla, tüm ebeveynlere olmak üzere, ileri yaş, çocukları ile ilişkileri zayıf olan, teknoloji kullanım becerileri zayıf ebeveynlere eğitim ve danışmanlık hizmeti sağlamaktadır. Pediatri hemşiresi dijital ebeveynlik becerilerini desteklerler (Uludaşdemir ve Küçük, 2021).

Pediatri hemşiresi ebeveynlere çocuğunu siber zorbalığa maruz kalıp kalmadığını veya siber zorbalık yapıp yapmadığını anlamalarını sağlayacak ip uçları verirler. Pediatri hemşiresi çocuğunda siber zorbalık veya siber mağdur bulgusu gördüklerinde yapması gerekenler,

çocuklarına yaklaşımlarının nasıl olması gerektiği ile ilgili gerekli bilgilendirmeler yaparlar. Örnek olarak siber mağdur olan çocuğa, kızgın olmadan sakin olarak siber zorbalık kanıtları toplaması ardından siber zorbaya karşılık vermeden vakit kaybetmeden engellemeli ve bu tür bir olayla karşılaştığı zaman ebeveynlerinden yardım istemesi gerektiği ve olayın gerçekleştiği platforma şikâyet etmesi gerektiği anlatılmalıdır. Aile çocuğunun siber zorba olduğunu fark ettiğinde; çocuğunun zorba olduğunu kabul ederek, yargılamadan, öfkelenmeden, çocuğunu korkutmadan, siber zorbalığı yapma nedeni ve nerede hangi siber alanda gerçekleştiğini öğrenmeli, hemen zorbalığa son vermesi gerektiği söylenmelidir. Ayrıca zorbalığa maruz kalan kişiyle empati yapması sağlanmalıdır (Hinduja ve Patchin, 2018). Medya okuryazarlığı eğitimi siber zorbalıkla mücadelede kilit nokta olmalı, siber zorbalıkta korunmak için sanal ortamları bilinçli kullanma konusunda farkındalık kazandırılmalıdır. Bireyler dijital ortamlarda saygı çerçevesi içinde iletişim kurmaları ve sosyal sorumluluk alma konularında teşvik edilmelidir (Baştürk Akca ve ark., 2014).

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada dijital ebeveynlik ile ilgili literatüre yansıyanları ve pediatri hemşiresinin rolleri ele alınmıştır. Dijital dünyadaki değişim ve gelişmelerin olumsuz etkilerinden çocukları koruyabilmek için ebeveynler teknolojik gelişmeleri yakından takip etmeli, teknolojiyi doğru ve etkili kullanmayı öğrenebilmelidirler. Ebeveynler dijital okuryazarlık, dijital dünyanın farkında olma, dijital ortamda kontrol, dijital etik ve yenilikçilik gibi dijital ebeveynlik rollerini kazanmalıdırlar. Ebeveynlerin dijital ebeveynlik becerilerini kazanmasında pediatri hemşirelerine önemli roller düşmektedir. Pediatri hemşireleri araştırmacı, eğitici ve savunuculuk rollerini kullanarak ebeveynlere dijital ebeveynlik becerileri kazandırmalıdırlar ve bu becerileri desteklemelidirler. Tüm ebeveynler olmak üzere özellikle ileri yaş, çocukları ile iletişimi zayıf olan ve teknolojiyi kullanma becerisi iyi olmayan ebeveynlerin dijital ebeveynlik konusunda eğitim ve danışmanlık alması sağlamalıdır.

KAYNAKÇA

- Kuyucu, M., Y Kuşığı ve Teknoloji: Y Kuşığı'nın İletişim Teknolojilerini Kullanım Alışkanlıkları. *Gümüşhane Üniversitesi İletişim Fakültesi Elektronik Dergisi*, 5(2), 845-872,2017.
- Küçükvardar, M., ve Tıngöy, Ö.,Teknoloji Bağımlılığının Semptomlar Temelinde İncelenmesi. *AJIT-e*, 9(35), 111- 123, 2018.
- Taipale, S., ve Hanninen, R., More Years, More Technologies. *Aging in the Digital Era*, 14(3), 258-263, 2018.
- Darinskaia, L., ve Maskvicheva, N., Intergenerational Education as a Resource of Digital Socialization of Older People. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 315, 448-451, 2019.
- Uzun, Z., Z Kuşığı Öğrencilerinin Akıllı Cep Telefonu (Smartphone) Kavramına İlişkin Algılarının Değerlendirilmesi: Bir Metafor Analizi Çalışması. 1. Uluslararası Uzaktan Eğitim Araştırmaları Konferansı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2016.
- Twenge, J. M., Campbell, S. M., Hoffman, B. J., ve Lance, C. E., Generational Differences in Workvalues: Leisure and Extrinsic Value Sincreasing, Social and Intrinsic Values Decreasing. *JOM*, 36(5), 1117-1142, 2010.
- Erten, P., Z Kuşığı'nın Dijital Teknolojiye Yönelik Tutumları. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 10(1), 190- 202, 2019.
- McCrindle, M., Understanding Generation Alpha. McCrindle Research Pty Ltd, 2020.
- Güzel, M., Alfa Kuşığıyla Birlikte Değişen Oyun Algısı: Dijital Oyuncaklar ve Ekran Bağımlılığı. *JSHSR*, 8(70), 1344-1355, 2021.
- Kaya, İ., ve Mutlu Bayraktar, D., Türkiye’de Yapılan Dijital Ebeveynlik Araştırmalarına Yönelik Bir İçerik Analizi Çalışması. *İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(2), 1046-1082, 2021.
- Özsoy, D., ve Atılğan, S. S., Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi’ndeki 0-8 Yaş Grubu Çocukların İnternet Kullanımı ve Bu Kapsamda Ebeveyn Arabuluculuğu: Nitel Bir Araştırma. *Selçuk İletişim*, 11(2), 96-125, 2018.
- Yurdakul, I. K., Dönmez, O., Yaman, F., ve Odabaşı, H.F., Dijital Ebeveynlik ve Değişen Roller. *GAUN-JSS*, 12(4), 883-89, 2013.
- Karabacak, Z. İ., ve Sezgin, A. A., Türkiye’de Dijital Dönüşüm ve Dijital Okuryazarlık. *Türk İdare Dergisi*, 1(488), 319-343, 2019.
- Ribble, M., Digital Citizenship in Schools: Nine Elements all Students should Know. *International Society for Technology in Education, Washington DC. ISTE*, 7(3), 15-32, 2015.
- Sari, D., Rejekiningsih, T., ve Muchtarom, M., Students' Digital Ethics Profile in the Era of Disruption: An Overview. *IJIM*, 14(3), 82-93.
- Abdul Rahman, N. A., Hussein, N., Rusdi, S. D., ve Abdul Aziz, Z. D. A. A., Factors Influencing Cyberbullying Behavior Among Malaysi Antertiary Students. *ABRIJ*, 6(2), 44-53, 2020.
- Arıcı Doğan, D., ve Döğler, S. S., Annelerin Dijital Ebeveynlik Tutumları ile Aile-Çocuk İnternet Bağımlılığı Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *International Journal of Social Science and Education Research*, 9(1), 1-14, 2023.

- Akay, E., ve Kayılı, G., Dijital Ebeveynlik Tutumları ile Ergenlerde İnternet Bağımlılığı ve Duyguları Yönetme Becerileri Arasındaki İlişki. *Çocuk ve Gelişim Dergisi*, 6(11), 48-66, 2023.
- Çelikbaş, E., *15-18 Yaş Çocuğu Olan Annelerin Dijital Ebeveynlik Farkındalığı ve İnternet Bağımlılığı Düzeyi ile Çocuğunun İnternet Bağımlılığı Düzeyi Arasındaki İlişki*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2023
- Pazarcıkcı, F., Karataş, N., ve Kaya, A., The Relationships of Parents' Mental Well-Being and Sociodemographic Characteristics with Digital Parenting Awareness: Structural Equation Model Analysis. *JPN*, 75, 102–111, 2024.
- Morgan, M. H. C., Huber-Krum, S., Willis, L. A., ve Shortt, J. W., A Literature Review of Digital Behavioral Parent Training Programs for Parents of Adolescents. *The Official Journal of The Society for Prevention Research*, 25(1), 155–174, 2024.
- Şenol, S., Tarih Boyunca Pediatri Hemşiresinin Rol ve İşlevleri. *Türkiye Klinikleri J Pediatr Nurs-Special Topics*, 4(1),1-7,2018.
- Karaman, H., ve Ayhan, H., Çocuğa Yönelik Teknolojik İhmal ve İstismar. *Online Journal of Technology Addiction and Cyberbullying*, 8(1), 43-59, 2021.
- Ayhan, H., ve Öztürk, E., Dijital Dünyada Ebeveyn Olmanın Görünürde Normal Bir Yansıması Olarak Paylaşan Ebeveynlik (Sharenting): Geleneksel Bir Derleme. *Turkiye Klinikleri Journal of Forensic Medicine and Forensic Sciences*, 18(2), 165-177, 2021.
- Aksoy, S.,Akıllı Cihazların Ebeveynler Tarafından Çocuk Bakımında Bir Bakıcı Olarak Kullanılması: Nitel Bir Araştırma. *ASEAD*, 7(11), 231-243, 2020.
- Darga, H., Anasınınına Devam Eden 5-6 Yaş Grubu Çocukların Evde Oynadıkları Dijital Oyunlar ve Ebeveynlerin Davranışlarının Belirlenmesi. *JCER*, 9 (17), 447-479, 2021.
- Özdemir, M., ve Akar, F., Lise Öğrencilerinin Siber Zorbalığa İlişkin Görüşlerinin Bazı Değişkenler Bakımından İncelenmesi. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Yönetimi*, 17(4), 605–626, 2011.
- Kavitha, K., and Sikandar, B. J., Digital Parenting: Issues, Challenges and Nursing Implications. *JPSN*, 12(3), 100-104, 2021.
- Manap, A., ve Durmuş, E., Dijital Ebeveynlik Farkındalığının Aile içi Roller ve Çocukta İnternet Bağımlılığına Göre İncelenmesi. *UEADER*, 12(1), 141-156, 2021.
- Uludasdemir, D., ve Küçük, S.,Siber Zorbalığın Önlenmesinde Önemli Bir Kavram: Dijital Ebeveynlik ve Pediatri Hemşireliği. *Türkiye Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 4(3), 54-70, 2021.
- Hinduja, S., ve Patchin, J. W., What To Do When Your Child Cyberbullies Others: Top Tips for Parents. *Cyberbullying Research Center*, 2018. <https://cyberbullying.org/tips-for-parents-when-your-child-cyberbullies-others.pdf> (erişim tarihi: 21.12.2024)
- Baştürk Akca, E., ve Sayımer, İ., Siber Zorbalık Kavramı, Türleri ve İlişkili Olduğu Faktörler: Mevcut Araştırmalar Üzerinden Bir Değerlendirme. *AJIT-e*, 8 (30), 7-19, (2017).

DİJİTAL EBEVEYNLİK TERİMİNİN TEZ ÇALIŞMALARINA YANSIMASI

Prof. Dr. Ayşe Sonay TÜRKMEN

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi

asonaykurt@gmail.com, 0505 378 10 41 ORCID: 0000-0002-3716-3255

MSc. Büşra Nur SARI

Karaman Eğitim ve Araştırma Hastanesi,3.Basamak Cerrahi Yoğun Bakım Ünitesi

saribusranur3@gmail.com , ORCID: 0000-0003-0868-1501

Öz: Bu çalışma dijital ebeveynlik kavramının tez çalışmalarında ele alınma sıklığını ve içeriğini incelemek amacı ile yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi arama motoru olarak değerlendirildi. Anahtar kelime olarak “dijital ebeveynlik” kelime grubu seçildi. Tarama sonucunda toplam 82 tez belirlendi.

Tez çalışmaları 2018-2024 yılları arasında yapıldığı görülmüştür. Bu tez çalışmalarının yıllar içerisinde artış gösterdiği 2024 yılında (n=29) ve 2023 yılında (n=24) en yüksek rakamlara ulaştığı görülmüştür. Tezlerin yürütüldüğü enstitü programlarına göre dağılımı değerlendirildiğinde tezlerin en fazla Psikoloji alanında (n=34), en az ise sağlık alanında (n=8) yürütüldüğü görülmüştür. Tez türü açısından dağılımda ise yüksek lisans tezlerinin 68, doktora tezlerinin 11, tıpta uzmanlık tezlerinin ise 3 adet yapıldığı görülmüştür. Tez çalışmalarında özellikle işlenen iki farklı terim olduğu görülmüştür. Bunlar “dijital ebeveynlik” ve “dijital farkındalık”tır.

Sonuç olarak dijital ebeveynlik çok yönlü, çocuk ve ebeveynlerinin sağlığını etkileyen önemli bir konu olmasına rağmen genellikle psikolojik boyutu ile ilgilenildiği ardından eğitim boyutuyla ele alındığı görülmüştür. Sağlık açısından incelemelerin ise çok düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle dijital ebeveynliğin etkilerinin en kalıcı olacağı tahmin edilen sağlık alanındaki etkileri ve çözüm önerilerine yönelik daha fazla tez çalışmasının yürütülmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dijital ebeveynlik, dijital farkındalık, dijital ortam

REFLECTION OF THE TERM DIGITAL PARENTING ON THESIS STUDIES

Prof. Dr. Ayşe Sonay TÜRKMEN

Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Health Sciences

asonaykurt@gmail.com, 0505 378 10 41 ORCID: 0000-0002-3716-3255

MSc. Büşra Nur SARI

Karaman Eğitim ve Araştırma Hastanesi,3.Basamak Cerrahi Yoğun Bakım Ünitesi

saribusranur3@gmail.com , ORCID: 0000-0003-0868-1501

Abstract: This study was conducted to examine the frequency and content of the concept of digital parenting in thesis studies. For this purpose, the Thesis Center of the Council of Higher Education was used as a search engine. The word group “digital parenting” was selected as the keyword. As a result of the search, a total of 82 theses were identified. It was seen that thesis studies were conducted between 2018 and 2024. It was observed that these thesis studies increased over the years, reaching the highest numbers in 3024 (n=29) and 2023 (n=24). When the distribution of theses according to the institute programs in which they were conducted was evaluated, it was seen that the theses were conducted mostly in the field of Psychology (n=34) and the least in the field of health (n=8). In terms of thesis type, 68 master's theses, 11 doctoral theses and 3 medical specialty theses were conducted. It was observed that there were two different terms that were especially covered in the thesis studies. These are “digital parenting” and “digital awareness”. As a result, although digital parenting is a multifaceted and important issue affecting the health of children and their parents, it has been observed that it is generally dealt with the psychological dimension, followed by the educational dimension. It has been determined that the examination in terms of health is very low. For this reason, it is recommended that more thesis studies should be carried out on the effects of digital parenting in the field of health, where the effects of digital parenting are predicted to be the most permanent, and solution suggestions.

Keywords: Digital parenting, digital awareness, digital media

GİRİŞ

İnternet dünyaya açılan bir kapı olarak çocukların gelişimleri için birçok avantaj sunarken bir de madalyonun karanlık yüzünü oluşturan riskler vardır. Bu riskler içerisinde en temel risk unsuru kullanım riskleri, içerikle ilgili riskler, davranış ile ilgili riskler, çevrimiçi temas riskleri ve çevrimdışı temas riskleri olarak sınıflandırılmaktadır (Özkaya, 2023). Kullanım risklerine; çocukların fiziksel gelişimlerine (obezite gibi) ve ruh sağlığına olumsuz etkiler, psikososyal sorunlar ve kaygı bozuklukları, asosyallik, internet bağımlılığı ve kişilik bozuklukları örnek verilebilir (Gökel, 2020). İçerik riskleri; kışkırtıcı (şiddet içerikleri, nefret söylemleri, ırkçı söylemler ve cinsel içerikler) ve yanıltıcı içerikleri (yanlış/ zararlı bilgi paylaşımı ve bu bilgiye ulaşım) içinde bulundurur (Gündüz, 2015). Diğer çocuklara şiddet uygulamak, nefret dolu sözler söylemek, intihara teşebbüs etmek ve ırkçı provokasyonda bulunmak gibi eylemler ise davranışla ilgili risklerdir. Temas riskleri ise; çevrimiçi temas (mahremiyete müdahale, cinsel tehlike ve siber zorbalık) ve çevrimdışı temas (çevrimiçi başlayıp zamanla fiziksel temasa dönüşen riskler) risklerini içermektedir (Gökel, 2020).

Mertala'nın (2019) yaptığı çalışmada Çocukların internetin içinde barındırdığı risklere maruz kalmasında ebeveynlerin tutumu ve ekran süresinin önemli olduğu vurgulanmıştır. Küçük yaşlardan itibaren aile bireylerinin kullanımı ile dijital medya sürecine dahil olan çocuklar, yıllar içerisinde kademeli olarak aktif kullanıcı haline gelmekte ve bu durum ile birlikte risklerin türü değişirken risklerle karşılaşma oranı da artmaktadır.

Dijital teknolojilerin çocuklar üzerindeki etkileri çok boyutlu olup, çocuğun bireysel özellikleri ile aile ve ebeveyn faktörlerinin bir etkileşimi sonucunda şekillenir. Teknolojinin bilinçli ve dengeli kullanılması, çocukların dijital ortamların sunduğu olanaklardan faydalanmasını ve risklerden korunmasını sağlayabilir. Bu nedenle, ebeveynlere çocukların dijital teknoloji kullanımı konusunda rehberlik etmek gerekir. Bu da pediatri hemşirelerinin değişen ve gelişen rollerinden biridir (Berglind ve Tynelius, 2017).

Dijital medya teknolojilerinin ebeveynlerin ve çocukların günlük yaşamının vazgeçilmez bir parçası haline geldiği söylenebilir. Ebeveynler, dijital cihazlarla zaman geçiren çocukları konusunda bazı endişeler taşıyorlar da çocukların eğlence, sosyalleşme, bilgiye ulaşma, eğitim gibi amaçlarla dijital medyayı kullanmaları günümüzde neredeyse kaçınılmaz bir hal almaktadır. Bu noktada risk ve olanakları göz önünde bulundurularak, çocuğun yaşına ve gereksinimlerine göre teknolojik cihaz kullanımının düzenlenmesi günümüz anne babalarının önemli sorumlulukları arasında yer almaktadır. Dijital çağın başlangıcı ile birlikte

çocuk denetimlerinin ve kontrollerinin de dijitalleşmesi gündeme gelmiştir. Tam da bu noktada “dijital ebeveynlik” terimi ile karşılaşmaktadır.

Dijital ebeveynlik, ebeveynlerin dijital dünyanın gerekliliklerini anlaması, temel seviyede bu teknolojik araçları kullanabilme becerisine sahip olması ve dijital araçların sunduğu olanakları fark etmesiyle tanımlanır (Yurdakul, 2013). Aynı zamanda, ebeveynlerin teknoloji alanındaki hızlı değişimlere uyum sağlaması ve çocukların dijital medya araçlarını kullanmalarına ilişkin geliştirdikleri tutum ve davranış modellerini içermektedir (İnan Kaya ve ark., 2018).

Dijital ebeveynlik terimi teknolojik gelişmeleri bilerek ve onlarla uyum içinde çocuğu dijital dünyadaki tehdit ya da risklere yönelik koruma ve tedbir alma durumu olarak tanımlanabilir (Manap ve Durmuş, 2021). Çocukları çeşitli risklere yönelik koruyabilmek için öncelikle karşılaşılacak bu riskleri bilmemiz gerekir. Dijital ebeveynlikte de temel unsur ebeveynin dijital teknolojilerin kullanımında bilinçli ve bilgili olması, dijital ortamda oluşabilecek riskleri bilmesidir (Yay, 2019). Risklerin farkında olmayan ebeveynler ya çocuklarını hiç koruyamamakta ya da riskli gördükleri dijital ortamı tamamen yasaklayabilmektedir. Dijital araçların kullanımı açısından yeterli kontrol gerçekleştiremediği ya da çocuğa öz kontrol kazandıramadığı, aşırı serbest ve izin verici tutum sergileyen ailelerin çocukları için dijital ortamlar, büyük bir eğlence aracı haline dönüşmektedir. Bu durumda dijital ortamlar teknolojik araç olmaktan çıkıp risklerle dolu bir alan haline gelmektedir (Ateş ve Saltalı, 2019).

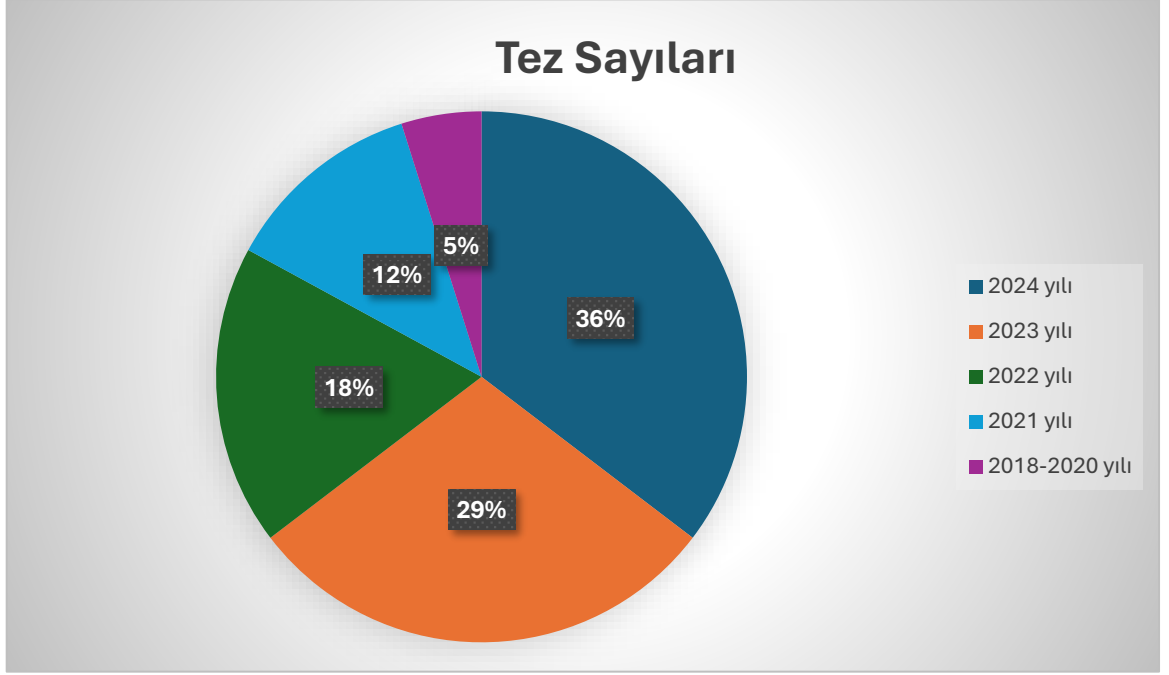
Dijital çağın başlangıcı olan 2010 yılından itibaren dijital ebeveynlik terimi de görüşülmeye, çeşitli çalışmalarda ele alınmaya başlamıştır. Farklı araştırma türlerinde değerlendirilen dijital ebeveynlik durumu tez çalışmalarına da konu olmaya başlamıştır. Bu çalışmanın amacı güncel bir terim olan “dijital ebeveynlik” kavramını ele alan tez çalışmalarını incelemektir.

YÖNTEM

Tarama çalışması olarak gerçekleştirilen bu çalışma Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi arama motoru kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu arama motorunda sadece Türkiye’de gerçekleştirilen tez çalışmaları bulunduğu anahtar kelime “dijital ebeveynlik” olarak tercih edilmiştir. Tarama sırasında herhangi bir süre kısıtlamasına gidilmemiş anahtar kelime ile tespit edilen tüm tez çalışmaları incelemeye alınmıştır. Toplam 82 tez çalışmasına ulaşılmıştır.

BULGULAR

Tez çalışmalarında özellikle işlenen iki farklı terim olduğu görülmüştür. Bunlar “dijital ebeveynlik” ve “dijital farkındalık”tır. Her iki tanım ile ele alan çalışmalar da değerlendirmeye alınmıştır. Tarama sonucunda elde edilen tez çalışmaları farklı özelliklerine göre değerlendirilmiştir. Öncelikle yıllara göre tez çalışmalarının dağılımı incelenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Yıllara göre yürütülen tez sayıları

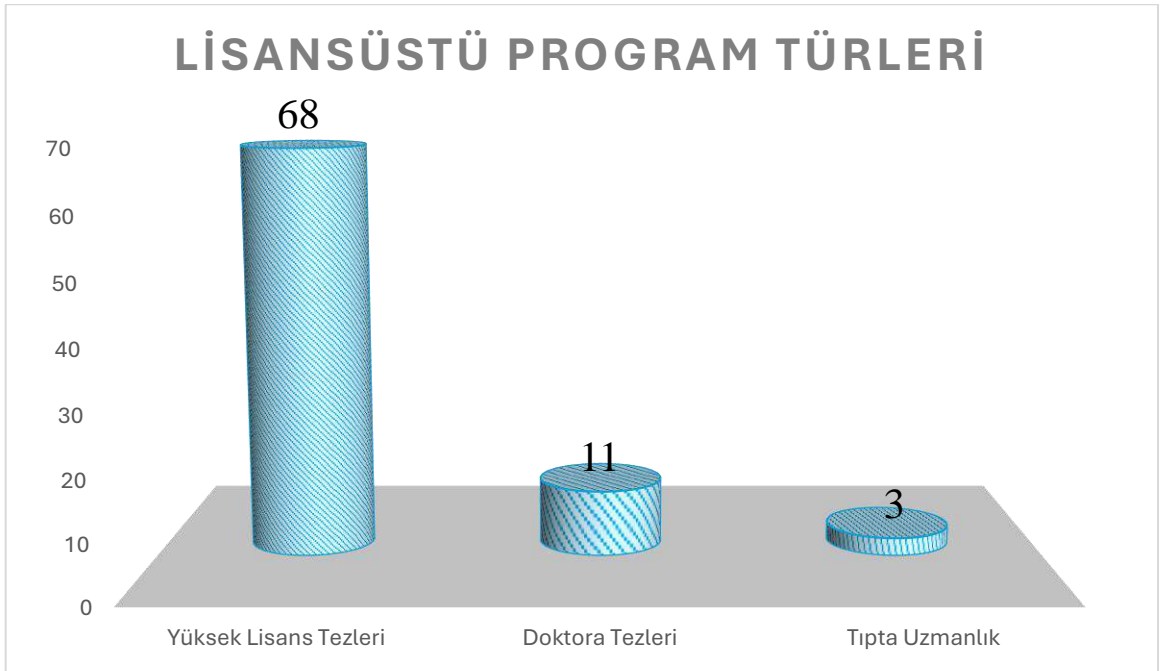
İncelenen toplam 82 tez çalışmasının 2018-2024 yılları arasında yürütüldüğü görülmüştür. Yıllara göre dağılımları değerlendirildiğinde dijital ebeveynlik konusunun tez çalışmalarının işleme oranının zaman içerisinde artış gösterdiği görülmüştür. En çok çalışmanın 2024 yılında (%36, n= 29) yürütüldüğü görülmüştür. En az çalışmanın ise 2018-2020 yılları arasında tamamlandığı tespit edilmiştir. Tezlerden bir tanesi 2018 yılında, bir tanesi 2019 yılında iki tanesi de 2020 yılında tamamlanmıştır. Ayrıca 2023 yılında %29 (n=24), 2022 yılında %18'i (n=15,)2021 yılında ise %12'sinin (n=10) tamamlandığı belirlenmiştir (Şekil 1).

Tez çalışmasının yürütüldüğü Ana Bilim Dallarına göre de farklı oranlarda çalışmaların gerçekleştirildiği görülmüştür. Ancak tezlerin dört farklı alanda toparlanabileceği görülmüştür. Bunlar; Psikoloji, Eğitim Bilimleri, İletişim ve Sağlık Bilimleri (Şekil 2).



Tez çalışmalarının çoğunlukla Psikoloji (n=34, %41,5) ve Eğitim Bilimleri (n=30, %36,6) alanlarında yürütüldüğü görülmüştür. İletişim/Medya alanında ise 10 (%12,2) tez çalışmasının tamamlandığı belirlenmiştir. Tez çalışmalarından en az tez yürütülen alanın ise Sağlık Bilimleri (n=8, %9,7) alanında olduğu görülmüştür (Şekil 2).

İncelenen tez çalışmalarının lisansüstü programlara göre dağılımları Şekil 3'te verilmiştir.



İncelenen çalışmaların büyük çoğunluğu (n=68, %85) yüksek lisans tezi olarak yürütülmüştür. Diğer çalışmaların ise doktora (n=11, %13,4) ve tıpta uzmanlık (n=3, %3,6) alanlarında tamamlandığı görülmüştür (Şekil 3).

SONUÇ

Güncel bir terim olan dijital ebeveynlik kavramının tez çalışmalarında ele alınma oranlarının özellikle son yıllarda hızla artış gösterdiği görülmüştür. Bu durumun dijital ebeveynlik kavramının 2010 yılından itibaren literatüre kazandırılması ve dijital ebeveynliğin öneminin de bu tarihten sonra kavranmaya başlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yürütülen tez çalışmalarının genellikle psikoloji alanında yürütüldüğü, sağlık alanındaki çalışmaların ise oldukça az olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmaların genellikle yüksek lisans düzeyinde yürütüldüğü doktora çalışma alanlarında henüz yaygınlık göstermediği belirlenmiştir. Bu nedenle bu çalışmaların özellikle doktora programlarında ve sağlık alanında yürütülmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Ateş, M. A. ve Saltalı, N. D., KKTC’de Yaşayan 5-6 Yaş Çocukların Tablet ve Cep Telefonu Kullanımına İlişkin Ebeveyn Görüşlerinin İncelenmesi. Gazi Eğitim Bilimleri Dergisi, 5(1), 62-90, 2019.

Manap, A. ve Durmuş, E. (2021). Dijital ebeveynlik farkındalığının çeşitli değişkenler, aile içi roller ve çocukta internet bağımlılığı açısından incelenmesi. E-Uluslararası Eğitim Araştırmaları Dergisi, 12(1), 141-156. <https://www.e-ijer.com/en/download/article-file/1437941/> (Erişim tarihi: 21.12.2024)

Yay, M., *Dijital Ebeveynlik*, Yeşilay Yayınları. İstanbul, 2019.

Gökel, Ö., Teknoloji Bağımlılığının Çeşitli Yaş Gruplarındaki Çocuklara Etkileri Hakkındaki Ebeveyn Görüşleri. Kıbrıs Türk Psikiyatri ve Psikoloji Dergisi, 2(1), 41-47, 2020.

Gündüz, A., İnternet Güvenliği Üzerine 2000-2014 Yılları Arasındaki Çalışmaların Bir İçerik Analizi: Riskler, Risklere Etki Eden Faktörler ve Metodolojik Yönelimler, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, 2015, Erzurum.

Berglind, D., and Tynelius, P., Objectively Measured Physical Activity Patterns, Sedentary Time and Parent-Reported Screen-Time Across the Day in Four-Year-Old Swedish Children. BMC Public Health, 18, 69, 2017.

- Mertala, P., Digital Technologies İn Early Childhood Education–A Frame Analysis Of Preservice Teachers’ Perceptions. *Early Child Development and Care*, 189(8), 1228-1241.2019.
- Yurdakul, I. K., Dönmez, O., Yaman, F., ve Odabaşı, H. F., Dijital Ebeveynlik ve Değişen Roller. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 12(4), 883-896, 2013.
- Kaya, G. İ., Bayraktar, D. M., ve Yılmaz, Ö., Dijital Ebeveynlik Tutum Ölçeği: Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, (46), 149-173,2018.

MİMARLIK TARİHİ DERSİNİN OYUNLAŞTIRILMASI İÇİN YENİLİKÇİ BİR YAKLAŞIM

Mimar Hatice AKAY

Hasan Kalyoncu Üniversitesi,

haticeakay41@gmail.com- 0009-0006-5250-0869

Dr. Öğretim Üyesi Meltem BARIŞ ARARAT

Hasan Kalyoncu Üniversitesi,

meltem.ararat@hku.edu.tr - 0000-0002-7329-1967

ÖZET

Mimarlık eğitimi mesleki hayata hazırlık sürecinde öğrencilerin estetik, teknik ve analitik becerilerini geliştirmeyi amaçlayan kapsamlı bir süreçtir. Bu sürecin önemli bir bileşenini mimarlık tarihi eğitimi oluşturur. Mimarlık tarihi eğitimi mimarlık disiplinin geçmişten günümüze geçirmiş olduğu evrimini tarihi bağlam içerisinde kavrayarak geçmiş ile günümüz arasındaki bağı oluşturan ve günümüzün sanat ve tasarım anlayışını öğretmek geleceğe ışık tutmaya olanak sağlayan temel bir disiplindir. Ancak bu derslerin teorik bilgi yoğunluğu öğrencilerin dersteki ilgisini ve motivasyonunu sürdürmek açısından çeşitli zorluklar barındırmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek için teorik bilginin geleneksel yöntemlerin dışında alternatif metotlarla desteklenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda günümüzde teknolojinin getirdiği imkanların kullanılması öğrencilerin mimari terminolojiyi, tarihsel bağlamı ve yapının tasarım özelliklerini oyunlaştırarak sanal bir ortamda keşfetmelerini sağlayarak daha etkili ve kalıcı bir öğrenme deneyimi sunmasına olanak sağlamaktadır.

Bu doğrultuda çalışmanın amacı mimarlık tarihi dersinde geleneksel öğretim yöntemlerinin dışında teknolojiden yararlanılarak alternatif bir öğretim yöntemi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, öğrencilerin ders sürecine aktif katılımını teşvik etmek, öğrenme motivasyonunu artırmak ve edinilen bilgilerin uzun vadede kalıcılığını sağlaması açısından önem taşımaktadır. Araştırma, özellikle mimarlık tarihi gibi yoğun bilgi ve soyut kavramların ele alındığı derslerde, teknolojik araçların ve oyunlaştırma tekniklerinin etkili bir eğitim aracı olarak kullanılabilmesini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mimarlık Tarihi Eğitimi, Oyunlaştırma, Dijitalleşme

AN INNOVATIVE APPROACH TO GAMIFICATION OF ARCHITECTURAL HISTORY COURSE

ABSTRACT

Architectural education is a comprehensive process that aims to develop students' aesthetic, technical, and analytical skills in preparation for professional life. An important component of this process is architectural history education. Architectural history education is a fundamental discipline that creates the link between the past and the present by comprehending the evolution of the architectural discipline from past to present in a historical context and shedding light on the future by teaching today's understanding of art and design. However, the theoretical information density of these courses poses various challenges in maintaining students' interest and motivation in the course. To overcome these difficulties, theoretical knowledge needs to be supported by alternative methods other than traditional methods. In this direction, the use of technology today allows students to explore architectural terminology, historical context, and design features of the building in a virtual environment by gamifying it, providing a more effective and permanent learning experience.

The aim of this study is to develop an alternative teaching method by utilizing technology in addition to traditional teaching methods in architectural history course. This approach is important in terms of encouraging students' active participation in the course process, increasing learning motivation and ensuring the long-term retention of the acquired knowledge. The research reveals that technological tools and gamification techniques can be used as an effective educational tool, especially in courses such as architectural history, where dense information and abstract concepts are handled.

Keywords: History of Architecture Education, Gamification, Digitalization

1. GİRİŞ

Mimarlık insanlığın varoluşundan bu yana barınma ihtiyacını estetik, fonksiyonel ve teknik olarak karşılamaktadır. Birçok disiplinle ortak çalışan mimarlık alanı mekânı anlamlandırma, algılama ve yön verme sorumluluğu taşımaktadır. Bu sorumluluğun bilincinde, yalnız yetenek sahibi değil aynı zamanda farkındalık sahibi mimarlar yetiştirebilmek için mimarlık eğitimi büyük bir öneme sahiptir (Benian & Mısırlı, 2017).

Mimarlık eğitimi, tasarım, estetik, teknik, yapısal, tarihi ve kültürel alanların iş birliği içinde öğrencilere aktarılmasıdır. Güçlü bir mimarlık eğitimi, öğrencilerin tasarım becerileri için temel atmasının yanı sıra tarihi, teknik, kültürel ve toplumsal bir perspektif kazanmalarını sağlamaktadır (Arı Akman, 2022). Bu eğitim sürecinin en önemli disiplinlerinden biri olan mimarlık tarihi alanı, mimarlığın tarihi bağlamda incelenmesidir (Düzenli, 2009). Mimarlık tarihi dersleri geçmişten günümüze yapıların tasarım faktörlerini, inşa yöntemlerini, toplum ve kültürel bağlantılarıyla tarihsel bir süreçle bizlere aktarmaktadır (Özgüleş ve ark, 2021). Bu

sebeple mimarlık tarihi dersinin en iyi şekilde öğrencilere aktarılması, öğrencilerde tarihi ve kültürel bilincin oluşturulması ve mesleki hayatta bu mimarlık tarihi derslerinden edindikleri birikimi kullanabilmelerini sağlamak büyük önem taşımaktadır.

Günümüzde pandemi dönemiyle hızla gelişen ve dönüşen teknolojik ve pedagojik dinamikler, öğretim görevlisi merkezli, belirli bir mekâna ve zamana ihtiyaç duyan derslikler; geleneksel öğretim yöntemlerinin sorgulanmasına ve yeni yöntemler üretilmesine gereklilik oluşturmuştur. Özellikle mimarlık tarihi dersi gibi soyut, bilgi akışının yoğun olduğu ve bununla beraber öğrencinin mimarlık anlayışına dair fikirler benimseyeceği bu disiplinin, daha anlaşılır ve ilgi çekici hale getirilmesi için yenilikçi yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır(Thompson, 2017). Bu bağlamda, teknolojinin merkezde olduğu, zamana ve mekâna bağlı kalmaksızın, ek bir kaynak niteliğinde, motivasyon artırıcı, eğlenceli ve sanal bir deneyim sunabilecek potansiyele sahip olan oyunlaştırma (gamification) kavramı, bu çalışma kapsamında yenilikçi bir yaklaşım olarak benimsenecektir.

Bu çalışmada oyunlaştırma kavramının mimarlık eğitiminde bir araç olarak kullanım olanakları ve özellikle mimarlık tarihi dersinin bu yöntem ile daha kalıcı, etkileyici ve deneyimsel hale getirilebileceği üzerinde durulmaktadır. Çalışma kapsamında mimarlık eğitimine yenilikçi bir yaklaşım sunularak öğrenci merkezli, etkileşimli bir öğrenme sürecinin oluşturulduğu, bilgilerin kalıcılığının artırıldığı, eğlenceli bir metot geliştirilerek klasik öğretim yöntemlerinin ötesine geçilmesi hedeflenmiştir.

2. OYUN VE OYUNLAŞTIRMA

Oyun kelimesi sözlük anlamı olarak Türk Dil Kurumu tarafından “yetenek ve zekâ geliştirici, belli kuralları olan, iyi vakit geçirmeye yarayan eğlence” olarak tanımlanmaktadır (Türkçe Sözlük, 2005). Oyun, temel olarak etkileşimli bir yapı içinde yer alan belirli kurallar, ödüller ve geri bildirim mekanizmalarına sahip bir etkinlik olarak tanımlanır (Özkan & Samur, 2017). Farklı oyun çeşitleri ve farklı oyun alanları mevcuttur. Spor, masa, video ve mobil oyunlar en yaygın olanlarıdır. Ayrıca oyunlar oyunculara deneyimleme, sosyal etkileşim, öğrenme ve eğlence sunma potansiyeline sahiptir (Surendeleg ve ark., 2014). Eğitim amacıyla geliştirilen oyunlar "ciddi oyunlar" kapsar ve geleneksel oyunlardan farklı olarak belirli bir öğrenme veya beceri geliştirme amacına yönelik tasarlanmaktadır (Hutson ve ark., 2022).

Oyunlaştırma kavramı ise oyun öğelerinin, tekniklerinin ve tasarımının oyun dışı etkinliklere eklenerek katılımcıların motivasyonunu arttırmayı, öğrenmeyi teşvik etmeyi ve ilgilerini çekmeyi amaçlayan bir yöntemdir (Deterding ve ark., 2011). 2002'de Nick Pelling tarafından literatüre giren bu kavram, Eğitim, satış, pazarlama, sağlık, alışveriş, sosyal medya gibi pek çok alanda kullanılan oyunlaştırma, katılımcılara puanlar, seviyeler, ödüller ve liderlik tabloları gibi oyun unsurları sunarak motivasyonu arttırdığı belirlenmiştir (Süvari, 2021). Ayrıca, etkileşim ve rekabeti teşvik ederek öğrenmeyi daha etkili hale getiren oyunlaştırma, geleneksel öğrenme yöntemlerine karşı alternatif olarak, öğrencilerin daha aktif öğrenmesini sağlayan ve dikkat eksikliği gibi sorunlara çözüm sunan teknolojik bir yaklaşımdır (Niculae & Duda, 2015).



Görsel 18. Oyunlaştırmanın Bileşenleri (URL-1)

Dijital oyunlara gösterilen ilginin artması ve toplumda yaygınlaşmasıyla akademisyenlerin ve araştırmacıların ilgi odağı haline gelen oyunlaştırma kavramı yüzyıllardır insanlığın hayatındadır (Süvari, 2021). Aristo “Okullar yokken oyunlar vardı.” sözü bu durumu özetlemektedir (Sezgin ve ark., 2018).

Oyunlaştırmanın geleneksel öğrenme stillerini destekleyecek ek bir kaynak olarak tercih edilmesinde eğitim alanında pandemiyle birlikte internet kullanımının artması, geleneksel sınıf ortamında öğrencilerin yeterince odaklanamaması, mekân ve zaman gözetmeksizin bireysel öğrenmenin ivme kazanması gibi sebepler sıralanabilir. Mobil uygulamalar, bilgisayar programları, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, web tabanlı oyunlar, dışında hikayeleştirme gibi alt yöntemlerle bile zaman zaman karşımıza çıkan oyunlaştırma kavramı pek çok farklı arayüzle çalışabilmesiyle de tercih edilebilirliğini arttırmaktadır (Niculae & Duda, 2015). Ayrıca yapılan birçok akademik araştırma ile eğitimde oyunlaştırmanın faydaları kanıtlanmıştır (Bucchiarone, 2022). Bilgi çağında yaşayan ve dijital yerliler olarak adlandırılan günümüz öğrencilerinin bilgiye erişimleri neredeyse sınırsızdır. Bu öğrencilerin oyunlaştırma uygulamalarında geçirdikleri süre, motivasyon ve öğrenme çıktılarında gelişme ve iyileşme bunu doğrulamaktadır. Oyunlaştırmanın bu kadar önemsenmesinin başka bir nedeni de katılımcılara pasif değil aktif öğrenme sağlaması, daha çok ezber yapmak, daha çok ders çalışmak gibi pasif seçeneklerden daha üstün olmasıdır (Schnabel ve ark., 2014). Özellikle pandemi sonrasında online yapılan eğitimler, geleneksel sınıf ortamından uzun süre uzak kalmak gibi etkenler birçok öğrencide dikkat eksikliği, odaklanamama gibi sorunlara sebep olmuştur. Bu sorunlara çözüm ararken standart yöntemlerin beklenen iyileştirmeyi sağlayamaması sebebiyle oyunlaştırma gibi dikkati, katılımı, motivasyonu uzun vadede arttıran yöntemler tercih edilmeye başlanmıştır (Hutson, Fulcher, Weber, 2022). Tüm bunlara ek oyun tabanlı öğrenme ile öğrenciler sanal ortamda kolayca erişebilir deneyimler yaşayabilmektedirler. Yapılan akademik araştırmalar gösteriyor ki bu deneyimlerle elde ettikleri başarıları gerçek dünyada da kazanabilme olasılıkları da artmaktadır (Bucchiarone,

2022). Mimarlık eğitiminde oyunlaştırmanın entegrasyonunda büyük bir potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir.

3. MİMARLIK EĞİTİMİ VE OYUNLAŞTIRMA

Hızla gelişen, hayatın her alanında belli kolaylıklar sağlayan teknoloji, eğitim alanında da varlığını her geçen gün dönüştürerek arttırmaktadır. Eğitim alanında gerçekleşen bu yenilikçi dönüşümün özellikle mimarlık gibi teknolojiyle ortak çalışan, yenilikleri kucaklayan ve sürekli gelişen bir disiplinde oyunlaştırma kavramıyla yer bulmasıdır. Bu önem taşıyan bir adım olup, hem öğrencilerin öğrenme süreçlerini daha etkileşimli hale getirecek hem de teknoloji ve yaratıcı düşünmenin birleşimiyle yeni eğitim modellerinin önünü açacaktır (Özgüleş, 2022) . Bu sayede, mimarlık eğitimi daha dinamik ve modern bir hale gelerek, öğrencilerin mesleki yeterliliklerini geliştirmelerine katkı sağlayacaktır.

Dünyada ve ülkemizde mimarlık eğitimlerine bakıldığında soyut ilişkiler kurma, anlamlandırma, araştırmaya ve analize dayalı tasarımlar oluşturma gibi becerileri kazandırmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu duruma çizme, tasarlama, sunum yapma, görsel tanıma, tanıtma ve model yapımı gibi daha geniş bir alanı kapsamaktadır. Bu durum da mimarlık eğitimi sözel ve teorik değil uygulamalı ve pratik bir alandır. Bu durum da gösteriyor ki mimarlık eğitiminde oyunlaştırma gibi deneyime dayalı yeni yöntemler kullanılması mimari öğretim şekillerine uyumlu olacaktır (Redondo ve ark., 2020)

Mimarlık tarihi, öğrencilerin estetik, teknik, yapısal anlamda tarihi yapıları ve tasarım anlayışlarını öğrendiği bir ders olup, ancak klasik öğretim yöntemlerinin sorgulanması gerekmekte ve edinilen bilgilerin kalıcılığının yetersiz olduğu düşünülmektedir. Bu durum, öğrencilerin ilgisinin zaman zaman eksik kaldığı bu dersin, daha etkili ve etkileşimli yöntemlerle desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Oyunlaştırma gibi yenilikçi yaklaşımlar, öğrencilerin bilgiyi sadece alıcı değil, aynı zamanda aktif bir katılımcı olarak içselleştirmelerini sağlayarak, öğrenme sürecini daha kalıcı hale getirerek ilgiyi ve motivasyonunu artıracaktır.

3.1. Mimarlık Eğitimi ve Mimarlık Tarihi Dersinin Önemi

Mimarlık eğitiminin temel taşlarından biri olan mimarlık tarihi dersi, yapıların yalnızca bir tarihsel bağlamda tanımlanmasından öte, toplumların kültürel, ekonomik ve sosyolojik gelişimlerini anlamak için kritik bir araçtır. Mimarlık tarihi, geçmişteki yapıtları ve mimari üslupları analiz ederek, güncel tasarımların sanatsal ve teknik açıdan gelişimine katkı sağlar (Atıcı Tektaş & Burnak, 2024).

Mimarlık tarihi dersi, sadece mimari yapıları değil, aynı zamanda bu yapıların tasarım süreçlerini, tarihsel dönüşümlerini ve toplumsal etkilerini inceleyerek, öğrencilere eleştirel düşünme becerisi kazandırır (Akman, 2022). Bu bağlamda, dersin müfredatı küresel standartlara uygun şekilde yenilenmeli ve yerel kültürel bağlamı da içerecek şekilde çeşitlendirilmelidir. Mimarlık tarihi, geçmiş uygarlıkların hikayesini anlatan bir kayıt olarak toplumsal hafızanın korunması ve geliştirilmesi için büyük bir öneme sahiptir (Özcan, 2022). Tüm bu faydalar göz önüne alınarak mimarlık tarihi dersine gerekli ihtimam gösterilmeli ve

klasik öğretim tekniklerine destek olacak, ilave kaynak olarak başvurulabilecek, öğrencilerin ilgisini çeken ve öğrenme sürecini zenginleştiren yenilikçi yöntemler geliştirilmelidir.

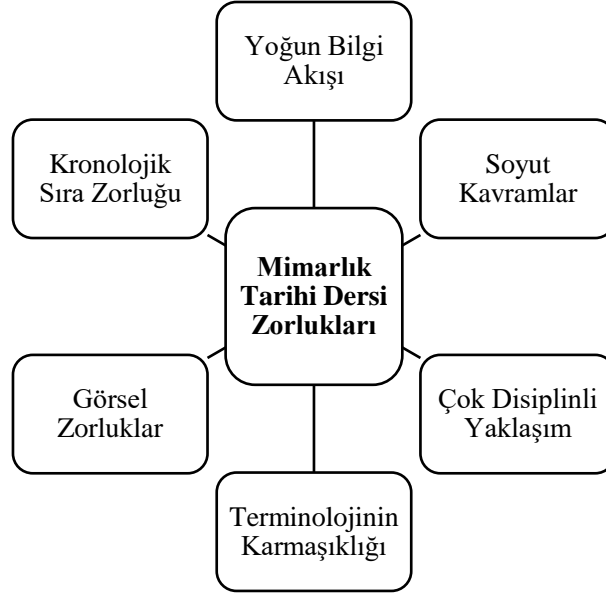
Öğrencilerin, mesleki hayatlarına ve mimari anlayışlarına büyük bir katkı sağlayan mimarlık tarihi dersini genellikle sözel ve ezbere dayalı bir ders olarak görmesi, bu dersin sıkıcı bulunmasına neden olmaktadır (Benian & Mısırlı, 2017). Ancak araştırmalar, bu dersin mesleki yetkinlik, çevresel farkındalık ve mimari anlayış açısından büyük önem taşıdığını ortaya koymaktadır (Özgüleş ve ark., 2021). Pandemi sonrası dönemde, geleneksel eğitim yöntemlerinin dijital platformlara taşınması, bu dersin daha etkin hale getirilmesi için bir fırsat yaratmıştır. Teknolojiyle desteklenen yeni öğretim yaklaşımları, özellikle oyunlaştırma yöntemi, öğrencilere mekânsal deneyim kazandırarak bilgilerin kalıcılığını artırabileceği ve ilgi çekici hale getirebileceği düşünülmektedir (Benian & Mısırlı, 2017).

3.2. Mimarlık Tarihi ve Oyunlaştırma

Mimarlık eğitiminde oyunlaştırmanın potansiyeli incelendiğinde, birçok alanda hâlâ eksikliklerin bulunduğu görülmektedir. Mevcut müfredatı yenilemek ya da geleneksel yöntemlere yenilerini eklemek, yüksek başarı ve kalıcı öğrenim için yeterli olmamaktadır. Ezbere dayalı, verimsiz ve odaklanma sorunlarıyla sıkça karşılaşılan dersler yerine, çağdaş, yenilikçi ve motivasyon sağlayıcı yaklaşımlar araştırılmalı ve faydası kanıtlanan yöntemler yaygınlaştırılmalıdır (Thompson, 2017).

Mimarlık eğitiminin tamamında oyunlaştırma yöntemi tek bir platformda mevcut olmasa da peyzaj, malzeme ve yapı dersleri için akademik düzeyde oyunlaştırma örnekleri bulunmaktadır. Ancak mimarlık tarihi dersi için yerel herhangi bir dijital oyun önerisi bulunmamaktadır. Mimarlık tarihi dersi kapsamında yaşanan zorluklar da düşünüldüğünde yenilikçi ve etkileşimli öğretim yöntemlerine duyulan ihtiyaç daha belirgin hale gelmektedir. Mimarlık tarihi dersi için bu zorluklar şöyle sıralanabilir:

- *Yoğun Bilgi Akışı:* Çok sayıda tarihî dönem, akım, eser ve kavram içerdiği için bilgilerin anlaşılması ve hatırlanması zorlaşabilir.
- *Soyut Kavramlar:* Estetik değerlendirmeler ve kültürel bağlamlar gibi soyut kavramlar, somutlaştırma ve kavrama gücü yaratabilir.
- *Çok Disiplinli Yaklaşım:* Tarih, sanat, kültür ve sosyoloji gibi disiplinlerin birleşimi, öğrencilerin farklı perspektiflere uyum sağlamasını gerektirir.
- *Terminolojinin Karmaşıklığı:* Özgün terimler ve terminolojinin öğrenilmesi ve kavranması öğrenciler için zorlayıcı olabilir.
- *Görsel Zorluklar:* Görsel unsurların yorumlanması ve analiz edilmesi bazı öğrenciler için problem oluşturabilir.
- *Kronolojik Sıra Zorluğu:* Dönemlerin sıralanması ve olayların kronolojik bağlamda anlaşılması zorluk yaratabilir.



Çizelge 9. Mimarlık Tarihi Dersi Zorlukları

Bu zorlukların aşılabilmesi, dersi anlama ve algılamada öğrencilere beceri kazandırması bu çalışma kapsamında oyun tabanlı öğrenme ile sağlanması amaçlanmaktadır.

Bu ders, mimarlığın temelini anlamak, tarihsel bağlamı kavramak ve mimari bir bakış açısı geliştirmek için kritik bir öneme sahiptir. Dolayısıyla, mimarlık tarihi dersinin öğretim yöntemleri hem öğrenme sürecini daha etkili kılmalı hem de öğrencilerin derse olan ilgisini artırmalıdır. Özellikle mimarlık öğrencileri tarafından en sıkıcı ve sözel derslerden biri olarak görülen mimarlık tarihi dersinin, oyun tabanlı yöntemlerle daha eğlenceli ve ilgi çekici hale getirilmesi gerekmektedir (Özgüleş, 2022).

4. OYUN MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Mimarlık tarihi dersinin oyunlaştırılması için gerçekleştirilecek model önerisinin etkili olabilmesi, uygun ve yeterli bir oyun önerisi sunulabilmesine bağlıdır. Mimarlık tarihi derslerinin teorik ve sözel olması sebebiyle öğrenciler tarafından sıkıcı bulunulmasının (Özgüleş, 2022) önüne geçmek için teknolojiyle iş birliği içinde oyunlaştırılması sürecinde hem öğretici hem motivasyon sağlayıcı hem de eğlenceli bir oyun tasarlamak, öğrencilerin öğrenme süreçlerinde merkezde olmaları ve etkileşimli bir katılım sağlamaları amaçlanmaktadır.

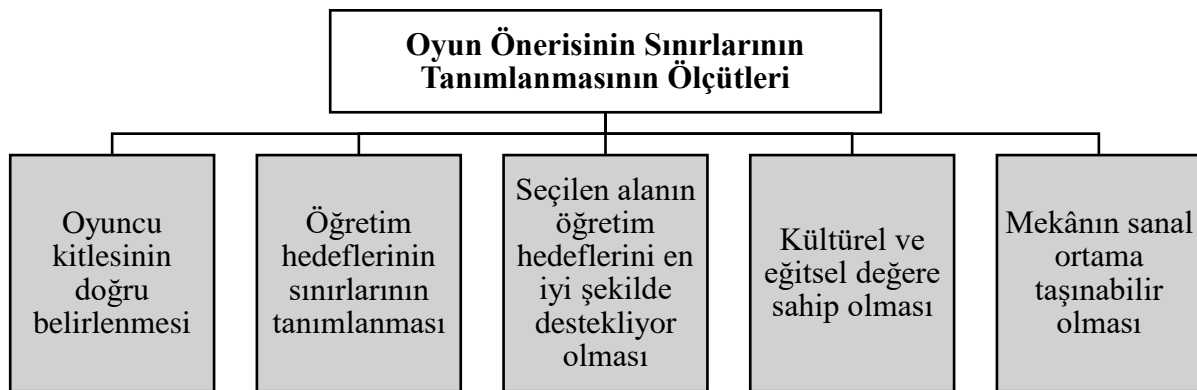
Gerçekleştirilecek oyun tasarlama ve modelleme süreci bir dizi aşamayı içermekte olup yalnızca ders içeriğinin oyun mekaniğine aktarılmasını değil, aynı zamanda oyuncu deneyiminin ve teknolojik altyapının göz önünde bulundurulmasını da gerektirmektedir. Bu sebeple mimarlık tarihi gibi bir alanda oyun tabanlı bir öğrenme aracı tasarlarırken, tarihsel yapıların detayları, dönemsel bağlamlar ve tasarım ilkeleri, oyun dünyasının bir parçası haline getirilmesine ve oyuncuların yalnızca eğlenmesini değil, aynı zamanda öğrenmesini sağlayacak şekilde kurgulanmasına dikkat edilmelidir.

4.1. Oyun Önerisinin Sınırlarının Tanımlanması

Mimarlık tarihi dersinin oyunlaştırılarak verilmesi kapsamında yapılan bu çalışmanın ilk aşaması problemin ve sınırların belirlenmesi olmalıdır. Belirlenen sınırlara göre oyun senaryosu ve hikayesi hazırlanmalı ve sonrasında sanal ortama aktarılmalıdır.

Oyun tasarımında öğretim hedefleri ve oyuncu kitlesinin doğru belirlenmesi, oyunun eğitici niteliği açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, oyun mekânı olarak tarihi, kültürel ve mimari öneme sahip, mimari akımları temsil eden yapılar seçilerek öğretim hedeflerini destekleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu çalışma kapsamında oyun tasarım sürecini oluşturan bazı ölçütler belirlenmiştir:

- **Oyuncu Kitlesinin Doğru Belirlenmesi:** Oyunun zorluk seviyesi, oyuncuların yaş, eğitim seviyesi ve öğrenim amacı gibi kriterlere uygun şekilde ayarlanmalıdır.
- **Öğretim Hedeflerinin Sınırlarının Tanımlanması:** Oyunda aktarılacak bilgilerin sınırları net şekilde belirlenerek oyun tasarımı, sanal alan ve oyunlaştırma yaklaşımı bu doğrultuda geliştirilmelidir.
- **Seçilen Alanın Öğretim Hedeflerini Desteklemesi:** Oyun mekânı, öğretilmek istenen bilgileri en iyi şekilde temsil etmelidir. Mekânın plan şeması, yapısal ve iç tasarımı, tarihi, kültürel ve mimari önemi dikkate alınmalıdır. Estetik, fonksiyonel ve teknik unsurlar ile mekânın anıtsal ve milli değerleri taşıması, görsel ve eğitsel potansiyelini artıracaktır.
- **Kültürel ve Eğitsel Değere Sahip Olması:** Oyun, mimari verilerin yanı sıra milli, kültürel ve tarihi değerleri de içermeli; oyuncuların hem mimari bilgilerini hem de genel kültür seviyelerini artıracak entelektüel bir deneyim sunmalıdır.
- **Mekânın Sanal Ortama Taşınabilir Olması:** Seçilen yapı, sanal ortamda modellenebilir olmalı ve oyun dinamikleriyle uyum sağlamalıdır. Yapının modellenebilmesi için 2 boyutlu veriler (plan, kesiti vb.) ulaşılabilir olmalıdır.



Çizelge 10. Oyun Önerisinin Sınırlarının Tanımlanmasının Ölçütleri

4.2. Oyun Senaryosunun Hazırlanması

Oyun önerisinin tasarlanmasının sonraki aşamamasında, oyunlaştırmanın temel unsurlarından biri olan oyun senaryosu ve hikayesinin geliştirilmesi gerekmektedir. Oyun senaryosu, oyunculara hem mimari hem de kültürel bir deneyim sunmayı amaçlayan bir yapı üzerine

kurgulanmalı, senaryonun bir olay örgüsüyle şekillendirilmiş olmasına dikkat edilmeli ve görevler sonrasında motivasyon sağlayıcı olarak belli puanlar, ödüller verilmelidir. Hazırlanan oyun senaryosunun, merak uyandırıcı, ilgi çekici, eğlenceli ve öğretim hedeflerini destekleyici şekilde tasarlanmasına dikkat edilmesi ve belirlenen görevlerin bu doğrultuda hazırlanmasıyla oyunlaştırma deneyimi hem etkili bir öğrenme süreci sunabilecek hem de öğrencilerin derse olan bağlılıklarını artırabilecektir. Tasarlanan oyun senaryosunun mimarlık tarihi dersinin oyunlaştırma deneyimini zenginleştirilmesi hedeflenmektedir.

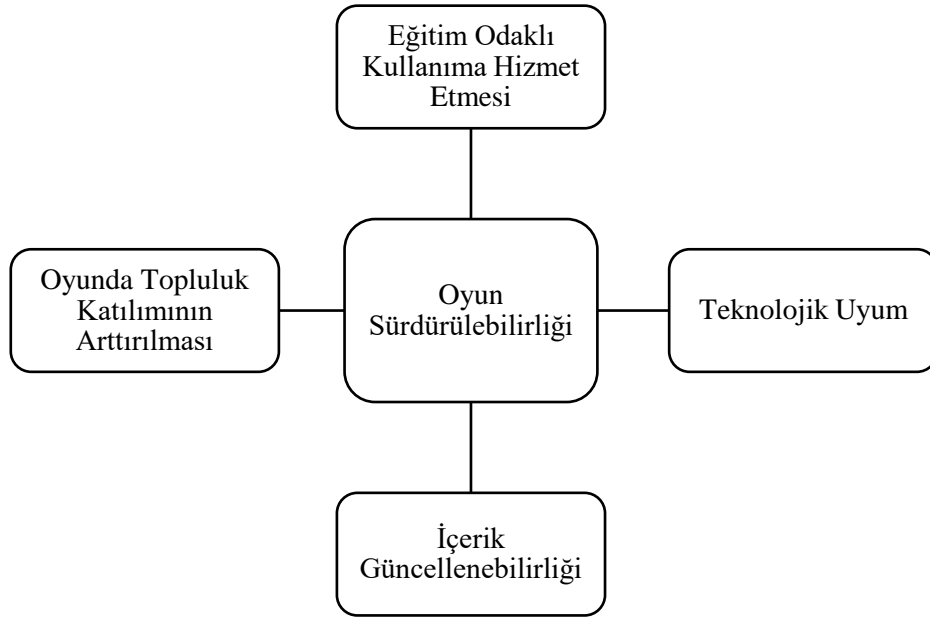
Hazırlanan oyun senaryosuyla birlikte öğretim hedefleri kapsamında bulunan mimari akım veya yapının uygun programlarda modellenip oyun motorlarına aktarımı gerçekleştirilmeli ve dijital ortamda oynanmaya hazır hale getirilmelidir.

Oyunlaştırma deneyiminin geliştirilmesi için oyunculardan belli aralıklarla geri bildirimler ve öneriler alınması elzem görünmektedir. Çünkü oyunun gelişen ve dönüşen teknolojiye ayak uydurabilmesi ve kullanıcıların ihtiyaçlarına daha iyi cevap verebilmesi için bu geri bildirimlerin düzenli olarak analiz edilmesi ve oyunun dinamiklerinin buna göre güncellenmesi gerekmektedir. Bu yaklaşım, oyunlaştırma deneyiminin gelişimini sağlarken, kullanıcıların memnuniyetini ve öğrenme verimliliğini de artırması öngörülmektedir.

4.3. Oyunun Sürdürülebilir Olması

Oyunlaştırma ve oyun tasarımında sürdürülebilirlik, oyunun devamlılığını sağlamak ve eğitime sürekli bir kaynak sunmak için kritik bir öneme sahiptir. Önerilen oyun modelinin sürdürülebilirliğinin şu faktörlere dayanması gerekmektedir:

- **Eğitim Odaklı Kullanım:** Eğitimciler ve oyuncuların şikâyet, öneri ve geri bildirimleri dikkate alınarak oyun sürekli geliştirilmeli ve güncellenmelidir.
- **Teknolojik Uyum:** Oyunun, Windows, macOS, Linux, oyun konsolları ve sanal gerçeklik gibi farklı platformlara ve teknolojilere uyum sağlayacak şekilde tasarlanmalı ve kullanım yaygınlığı artırılmalı ve gelişen teknolojiyle beraber güncellenebilir olmalıdır.
- **İçerik Güncellenebilirliği:** Eğitim ihtiyaçlarına ve müfredat değişikliklerine adapte olabilecek, yeni yapılar ve mimari akımları ekleyerek güncellenebilir bir sistem sunulmalıdır.
- **Topluluk Katılımı:** Üniversiteler ve kültürel miras koruma kurumlarıyla iş birliği yapılarak, akademisyen ve öğrencilerin geri bildirimleriyle oyun içerikleri sürekli geliştirilmeli ve geniş kitlelere ulaştırılmalıdır.



Çizelge 11. Oyun Sürdürülebilirliği için Belirlenen Faktörler

Bu faktörler doğrultusunda geniş kapsamlı mimarlık tarihi dersinin oyunlaştırılarak sürdürülebilir bir öğretim platformu haline getirilmesi yerel ve global olarak eğitimde yenilikçi bir model sunulması, mimarlık tarihine olan ilgiyi artırarak disiplinler arası öğrenme süreçlerine katkıda bulunulması hedeflenmektedir. Bu platformun, hem yerel kültürel mirasın tanıtılmasına hem de küresel ölçekte mimarlık eğitiminin dijitalleşmesine öncülük edebilmesi mümkün görünmektedir.

5. OYUN DEĞERLENDİRMESİ

Bu çalışma, mimarlık tarihi dersi için etkileşimli, eğlenceli ve öğrenen merkezli bir oyun modeli önererek mimarlık eğitimine yenilikçi ve teknolojik bir kaynak sunmayı amaçlamaktadır. Tasarlanan model önerisi, öğretim hedeflerine ve sınırlarına dair temel bilgileri, pedagojik etkiler gözetilerek oyunculara görevler ve testlerle eğlence ve motivasyon unsurlarıyla birlikte öğretmeyi hedeflemektedir. Bu yöntemle oyuncuların yapının kültürel, tarihi ve mimari önemini içselleştirmesini ve sanal ortamda gerçek mekânla bağ kurmasını sağlamak hedeflenmektedir.

Araştırmanın amacı, öğrencilere teknolojiden yararlanarak mimarlık eğitiminde ve bu araştırma kapsamında mimarlık tarihi dersi eğitimi için ek bir kaynak oluşturmaktır. Bu kaynak, öğrenimi kolaylaştırması, kalıcılığı artırması ve sürdürülebilir olması amacıyla tasarlanmıştır. Bu maksatla aşağıda belirtilen ilkelerle oyun yaklaşımı gerçekleştirilmesi gerekmektedir:

- Oyunun oyuncu kitlesine uygun, anlaşılabilir, doğru zorluk seviyesinde ve şekilde tasarlanması,
- Oyunlaştırmanın öğelerini (puanlama, görev, ödül vb.) içinde bulundurması (Deterding et al., 2011),

- Oyunun sürdürülebilir olması ve diğer mimari akımlarda da uygulanabilir olması için senaryonun uyarlanabilir olması,
- Oyun modelinin tasarlandığı programın ve oyun motorunun herkes tarafından ücretsiz ve kolay bir şekilde kullanabilmesi ve bu sayede oyun maliyetinin en düşük düzeyde tutulması,
- Oyunda görevler sonrası izlenebilen yapıya ait veriler, efsaneler ve teknik bilgiler hikayeleştirilerek anlatılmasıyla öğrenilenlerin pekiştirilmesi,
- Oyuncuların kendi kendine öğrenmesini teşvik eden ve rehberlik eden(Örnek, 2016) bir oyun yaklaşımının oluşturulması,
- Görev sonlarında verilen mini testlerle öğrenilenlerin oyun içinde değerlendirilmesi ve böylece puan toplayarak diğer göreve geçebilmesi,
- Verilen görevlerin oyun ara yüzünde bulunmasıyla açıklayıcı ve net hedefler içermesi, kafa karışıklığına sebep olmaması,
- Bir görev gerçekleştirilmeden diğer göreve oluşturulan kodlarla geçememesi ve bu sayede tüm görevlerin eksiksiz yerine getirilmesi.

Bu ilkeler doğrultusunda tasarlanan model önerisi, mimarlık tarihi eğitimi için esnek bir yapı sunarken, dönüşen eğitim sistemlerine uyum sağlayabilecek bir yapıda oluşturulmasına dikkat edilmiştir. Mimarlık öğrencileri için tasarlanan bu oyun, ilgilenen herkesin kolayca erişebileceği bir platform olması planlanıp diğer mimari yapılar ile akımları da içerecek şekilde genişletilebilir olması, böylece mimarlık tarihine ilgi duyan geniş bir kitleye hitap etmesi amaçlanmaktadır. Bu yaklaşım, yalnızca öğrenciler için değil, aynı zamanda kültürel ve entelektüel birikimini artırmak isteyen herkes için interaktif bir öğrenme aracı olarak işlev görebilmesini mümkün kılmaktadır.

6.SONUÇ

Mimarlık eğitimi, estetik, teknik ve tarihsel bilgi birikimini bütünleştirerek öğrencilere kapsamlı bir perspektif sunmayı amaçlayan disiplinler arası bir alandır. Bu sürecin önemli bir bileşeni olan mimarlık tarihi dersleri, geçmişin mimari mirasını anlamak ve geleceğe yön verecek tasarımlar geliştirmek için kritik bir öneme sahiptir. Ancak bu derslerin terminolojik yoğunluğu, soyut kavramları ve tarihsel bağlamları içermesi sebebiyle öğrenme sürecinde motivasyon kaybı gibi zorluklar barındırmaktadır (Özgüleş ve ark., 2021). Bu zorluklara modern ve teknolojik tekniklerden yararlanılarak yenilikçi çözümler üretilmesi ve günümüz insanların ihtiyaçlarına cevap vermesi oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında mimarlık tarihi dersinde karşılaşılan yoğun bilgi akışı, soyut kavramlar, çok disiplinli yaklaşım ve kronolojik sıra zorluğu gibi bazı öğretim ve öğrenim güçlüklerine öğrencilerin aktif katılımını teşvik eden ve öğrenmeyi daha etkili hale getiren yenilikçi yaklaşımlarla desteklemek hedeflenmiştir.

Oyunlaştırma yaklaşımı, öğrencilerin aktif katılımını sağlayan ve öğrenme süreçlerini daha etkileşimli hale getiren bir yöntem olarak (Deterding ve ark., 2011) mimarlık tarihi derslerinde önemli bir potansiyele sahip olması ve mimarlık tarihi dersinin içerdiği detaylar ve soyut

kavramlar, oyunlaştırma teknikleriyle somutlaştırılabilir, sanal deneyimler sunabilmesi ve öğrencilerin ilgisini çekebilecek olması sebepleriyle bu çalışma için tercih edilmiştir.

Mimarlık tarihi dersinin geleneksel öğretim yöntemlerine ek bir kaynak niteliği oluşturacak, sürdürülebilir, esnek ve uyarlanabilir bir model sunulması ve bu modelin oyunlaştırma yaklaşımıyla tasarlanması çalışmanın ana gayesini oluşturmuştur. Bu çalışmanın ana amacı, oyunlaştırmayla öğrenilenlerin unutulmaması, meslek hayatı boyunca bilgilerin arka planda oyuncuya rehberlik etmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda yapılan araştırmalar göstermektedir ki oyunlaştırma, materyal ile öğrenci arasındaki bağlantıyı iyileştirmeye, geliştirmeye yardımcı olmakta, başka bir deyişle öğrenilmek istenen şeyi, konuyu kullanıcının içselleştirmesi, algılaması çok daha kolay hale gelmektedir (Fonseca ve ark., 2017).Oyunlaştırmanın, mimarlık eğitimine olacak katkıları ve eğitim süreçlerine entegrasyonunun potansiyeli, modern mimarlık eğitiminde ve mimarlık tarihi dersi için yeni ufuklar açmak adına önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Oyunlaştırma teknolojisi kullanılarak hazırlanan oyun modeliyle sadece öğrencilere öğretilmek istenen bilgilerin aktarılması değil aynı zamanda herkesin kolay ulaşabilmesinin mümkün olabilmesi sayesinde eğitimde ikincil bir kaynak oluşturması amaçlanmaktadır ve böylece dijital bir öğretim platformu oluşabilmesi ve zaman içerisinde eğitim eşitliğine de katkı sağlayabilmesi mümkün görünmektedir.

Oyunlaştırma her ne kadar öğrenme motivasyonunu arttıran bir araç olarak görülse de öğrencilerin ders çalışmasına katkı sağlayan bir diğer en önemli motivasyonlarından olan sınavlara ve notlara hizmet etmesi de planlanmaktadır. Oyun tabanlı öğrenme ile bu durum bir ödev, sorumluluk halinden çıkıp, keyifli hale gelebilecek ve böylelikle not kaygısı da azalarak öğrencilerin dersle daha içten bir bağ kurmaları sağlanacaktır. Çünkü oyun oynarken öğrenen öğrenciler ezberlemeyecek, eğlenerek, görsel ve duyuşal hafızayla pekiştirerek öğreneceklerdir (Niculae & Duda, 2015). Bu durum da başarıyı elde etmelerini oldukça kolaylaştıracaktır.

Oyunlaştırma yöntemiyle oluşturulan oyun önerisi, öğretim hedefleri kapsamında belirlenen mimari akımın veya yapının temel özelliklerini pedagojik bir yaklaşımla aktarmayı amaçlamaktadır. Eğitimde teknolojinin etkin kullanımını destekleyen bu oyun önerisi, özellikle soyut ve bilgi yoğun içeriklere sahip mimarlık tarihi derslerinin daha anlaşılır, eğlenceli ve akılda kalıcı hale gelmesi için bir çözüm sunmaktadır.

Bu çalışma özelinde tüm mimari akımların ve tarihi ve mimari öneme sahip çoğu yapının oyun içeriğinde yer alması mümkün olup, mimarlık tarihi dersi müfredatına uyarlanabilir olması, mimarlık tarihi alanına dair kapsamlı ve sürdürülebilir bir öğretim kaynağı sunma potansiyeline sahip olması da bu çalışmayı önemli ve yenilikçi kılan unsurlardan biridir. Böyle bir genişleme, mimarlık tarihine olan ilginin artmasına, disiplinler arası öğrenme süreçlerinin desteklenmesine ve kültürel mirasın daha geniş kitlelere tanıtılmasına katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, oyunlaştırmanın mimarlık eğitiminde yalnızca bir araç değil, aynı zamanda etkili bir öğrenme stratejisi olarak kullanılabileceği öngörülmüş ve bu yaklaşımın hem eğitim süreçlerini zenginleştirmek hem de teknolojiyi eğitime entegre etmek adına önemli bir potansiyel taşıdığı düşünülmektedir. Bu model, mimarlık tarihi derslerinde uygulanabilir bir

örnek oluştururken, aynı zamanda mimarlık eğitiminin diğer alanlarında da oyunlaştırmanın kullanımına yönelik yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Gelecekte bu modelin daha geniş kapsamlı uygulamalarla desteklenmesi ve öğrenci deneyimlerinin incelenmesi, mimarlık eğitiminde oyunlaştırma yöntemlerinin etkisini daha iyi anlamak için değerli olacaktır.

KAYNAKÇA

Arı Akman, G., *Doğan Kuban'ın "Türk Hayat'lı Evi" Anlayışının Çağdaş Mimarlık Tarihi Yaklaşımları Üzerinden Değerlendirilmesi*, Akdeniz University Journal of The Faculty of Architecture, 2022(1), 47–59, 2022.

Benian, E., & Mısırlı, A., *Mekân Deneyiminin Mimarlık Tarihi Eğitime Katkısı*, Uluslararası Stratejik Araştırmalar Kongresi, 2017.

Bucchiarone, A., *Gamification and Virtual Reality for Digital Twins Learning and Training: Architecture and Challenges*, Virtual Reality and Intelligent Hardware, 4(6), 471–486, 2022.

Deterding, S., Sicart, M., Nacke, L., O'Hara, K., & Dixon, D., *Gamification: Using Game Design Elements in Non-Gaming*, In CHI'11 Extended Abstracts On Human Factors In Computing Systems 2425-2428, 2011.

Düzenli, H. İ., *Fiziksel İnşadan Metinsel İnşaya: Türkiye'de Mimarlık Tarihi ve Tarihciliğinin Serüveni*, Türkiye Araştırmaları Literatür Dergisi, (13), 11-50, 2009.

Fonseca, D., Villagrasa, S., Navarro, I., Redondo, E., Valls, F., & Sánchez, A., *Urban Gamification In Architecture Education*. Advances in Intelligent Systems and Computing, 571, 335–341, 2017.

Hutson, J., Fulcher, B., & Weber, J., *Gamification in Education: A Study of Design-Based Learning in Operationalizing a Game Studio for Serious Games*, Journal of Intelligent Learning Systems and Applications, 14(04), 115–131, 2022.

Niculae, R., & Duda, M., *Gamification As Means Of Getting From E-Learning To Experience Learning In Architecture*. 11th International Conference E-Learning and Software for Education, 2, 88–93, 2015.

Örnek, M. A., *Peyzaj Mimarlığı Eğitiminde Bilgisayar Oyunlarının Öğretim Aracı ve Destek Sistemi Olarak Kullanılması: Landcons 1.0*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.

Özcan, H. Y., *Formation Of Architectural History As A Discipline In Modern Architectural Education In Turkey*, Master's Thesis, Izmir Institute of Technology, Master of Science, İzmir, 2022.

Özgüleş, M., *Gamification and Storytelling for Architectural History and Cultural Heritage Awareness*, 5th International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism, 714–718, 2022.

Özgüleş, M., Kalman, M., Özyurt, M., & Şahin, S., *Exploring Student Perceptions And Experiences Of Different Teaching And Learning Approaches In Architectural History Education: A Comparative Case Study*. Learning Environments Research, 24(2), 269–297, 2021.

Özkan, Z., & Samur, Y., *Oyunlaştırma Yönteminin Öğrencilerin Motivasyonları Üzerine Etkisi*, Ege Eğitim Dergisi, (18) 2: 857-886 857, 2017.

Redondo, E., Fonseca, D., Sánchez-Sepúlveda, M., Zapata, H., Navarro, I., Gimenez, L., & Pérez, M. A. (2020). *Edugame4city. A Gamification For Architecture Students. Viability Study Applied To Urban Design*. In International Conference on Human-Computer Interaction ,296-314, 2020.

Schnabel, M. A., Sky, L. T. T., & Aydın, S., *Gamification And Rule Based Design Strategies In Architecture Education*, DesignEd Asia Conference, 2014.

Sezgin, S., Bozkurt, A., Yılmaz, E. A., & Van Der Linden, N., *Oyunlaştırma, Eğitim ve Kuramsal Yaklaşımlar: Öğrenme Süreçlerinde Motivasyon, Adanmışlık ve Sürdürülebilirlik*, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 0(45), 169–189, 2018.

Surendeleg, G., Murwa, V., Yun, H. K., & Kim, Y. S., *The Role Of Gamification In Education- A Literature Review*, Contemporary Engineering Sciences, 7(29–32), 1609–1616, 2014.

Süvari, A., *Oyunlaştırma Çerçevesinde İç Mimarlık Stajının İyileştirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi*, Sanatta Yeterlik Tezi, Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Eskişehir, 2021.

Thompson, J., *Teaching Global Architectural History*, Global Architectural History Teaching Collaborative (GAHTC), 2017.

Türkçe Sözlük, Ankara: TDK Yayınları, 2005

URL-1: <https://akshatsinghisht.com/what-is-gamification/> Erişim Tarihi: (20.12.2024)

HBİM İLE ENERJİ TÜKETİM ANALİZİ: GAZİANTEP TAHTANI CAMİ

Mimar Hatice KARDAŞ

Hasan Kalyoncu Üniversitesi,

htckrd123@gmail.com- 0009-0006-7650-571X

Dr. Öğretim Üyesi Merve ANAÇ

Hasan Kalyoncu Üniversitesi,

merve.anac@hku.edu.tr- 0000-0003-0281-2646

ÖZET

Son zamanların popüler kavramlarından olan enerji, sürdürülebilir kalkınmanın önemli hedefleri arasında yer almaktadır. Gelişen ve değişen dünyada enerji tüketimindeki ciddi artış birtakım problemlere yol açmaktadır. Bu artış; enerji kaynaklarının tükenmesi, küresel ısınma, sera gazı emisyonları ve karbon salınımı gibi ağır çevresel etkilere sebebiyet verebilir. Enerjinin yaklaşık %40'lık ciddi bir oranı yapı sektörü tarafından kullanılmaktadır. Bu sonuç, birçok araştırmacıyı yapılarda enerji tüketim optimizasyonu konusunda çalışmaya yönlendirmiştir. Tarihi yapılarda enerji optimizasyonu konusu, hassas karşılanan bir konudur. Bunun sebebi, bu yapıların kültürel miras değeri taşımasıdır. Yapılacak olan müdahalelerin yapının orijinalini bozmaması gerekmektedir. Belirli sınırlar çerçevesinde tarihi yapıda enerji optimizasyonu sağlayarak sürdürülebilirliğini arttırmak sosyal açıdan da büyük önem taşımaktadır. Yapı türleri arasında camiler, aralıklı doluluk olarak adlandırılan benzersiz bir işleyişe sahiptir. Camiler günün belirli vakitlerinde kullanılan, kullanımı dışında boş kalan, büyük ve geniş hacimli yapılardır. Enerji tüketiminde büyük bir sistemsizlik olsa da içerisinde büyük bir enerji tasarruf potansiyeli barındırmaktadır.

Bu çalışma, Gaziantep'teki Tahtani Cami'nin enerji analizlerinin yapıldığı bir vaka çalışmasıdır. Tahtani Cami özelinde yapılan bu çalışmada, HBİM teknolojisinin sunduğu imkanlardan yararlanarak oluşturulan modelin, hem enerji analizleri yapılarak enerji tüketim durumunu ortaya koymak hem de yapının yıllar boyu kaybolmadan dijital ortamda belgelenecek arşiv niteliği taşımasını sağlamak hedeflenmektedir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan yöntem, benzeri çalışmalar için yol gösterici bir kılavuz olma niteliği taşıması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji Tüketimi, HBİM, Modelleme, Tarihi Cami

ENERGY CONSUMPTION ANALYSIS WITH HBIM: GAZIANTEP TAHTANI MOSQUE

ABSTRACT

Energy, one of the popular concepts of recent times, is among the important goals of sustainable development. The significant increase in energy consumption in the developing and changing world leads to several problems. This increase may cause severe environmental impacts such as depletion of energy resources, global warming, greenhouse gas emissions, and carbon emissions. The building sector uses a significant proportion of energy, about 40%. This result has led many researchers to work on energy consumption optimization in buildings. Energy optimization in historic buildings is a sensitive issue. This is because these buildings have cultural heritage value. The interventions to be made should not disrupt the original structure. Increasing the sustainability of the historical building by providing energy optimization within certain limits is also of great social importance. Among building types, mosques have a unique function called intermittent occupancy. Mosques are large and voluminous buildings used at certain times of the day and remain empty outside their use. Although there is great unsystematic energy consumption, there is a great potential for energy savings.

This is a case study on the energy analysis of the Tahtani Mosque in Gaziantep. This study specific to Tahtani Mosque, aims to reveal the energy consumption status of the model created by taking advantage of the possibilities offered by HBIM technology by performing energy analyses and to ensure that the building will be documented in the digital environment and become an archive without being lost for years. In addition, the method used in this study is intended to be a guiding guide for similar studies.

Keywords: Energy Consumption, HBIM, Modeling, Historic Mosque

1. GİRİŞ

Yaşanan teknolojik gelişmeler ve hayat koşullarındaki değişimlerle birlikte, her geçen gün enerji kaynaklarına olan ihtiyaç artmaktadır (Seydioğulları, 2013). Enerji kullanımındaki bu artış enerji tedarikinde zorluklar ve çevresel ağır etkilerin ortaya çıkmasına sebebiyet vermektedir (Pérez-Lombard et al., 2007). Enerji kullanımındaki küresel artış ve olumsuz çevresel etkileriyle mücadele edilmesi gereklilik arz etmektedir. Enerji tüketiminin ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır (Marzouk et al., 2024).

Enerji tüketiminin %40'lık gibi ciddi bir oranı yapı sektörü tarafından kullanılmaktadır. Yapının yapımında, kullanımda ve yıkımında enerji kullanımı gerçekleşmektedir. Bu alanlarda yapılacak tasarruf uygulamalarının toplam enerji tüketimindeki azaltmada ciddi katkısı olacaktır (A Atmaca & Atmaca, 2015). Yapılardaki enerji tüketim kontrolsüzlüğünü gidermek ve enerji kullanımını yönetmek için BEMS (Bina Enerji Yönetim Sistemi) ortaya çıkmıştır (Bonilla et al., 2018).

Diğer yapı türlerine kıyasla tarihi yapılarda yapılacak olan enerji verimliliği uygulamalarında birtakım zorluklar çıkmaktadır. Çünkü yapılacak uygulamalar tarihi yapının miras değerine zarar verebilir (Spigliantini et al., 2019). Tarihi yapılar, kültürümüzün bir parçasıdır (Ferretti et al., 2014). Bu yüzden tarihi dokuya müdahale özel aşamalar gerektirmektedir (Şahin et al., 2015). Türkiye'de birçok tarihi yapı, yanlış restorasyon ve koruma, doğal afetler, savaşlar gibi nedenlerden dolayı yok olmuştur (Yetkin, 2020). Buna rağmen Türkiye'de çok sayıda tarihi

yapı stoğu bulunmaktadır (Somuncu, 2015). Tarihi yapı stoğunun önemli bir kısmını camiler oluşturmaktadır (Topraklı & Satır, 2024).

Camiler, işleyiş ve tasarımsal olarak diğer yapı türlerine göre farklılıklar göstermektedir (I. Budaiwi & Abdou, 2013). Literatürde ‘aralıklı doluluk’ olarak adlandırılan kullanımı vardır. Günde 5 vakit (sabah, öğle, ikindi, akşam, yatsı) namaz ibadeti için kullanılır, onun dışında ekstra bir etkinlik olmadığı sürece boştur. Ayrıca cami yapıları geniş hacimli ve büyük yapılardır. Bu gibi durumlar camilerde performans kayıplarına neden olmaktadır (Alharbi et al., 2020). Bu konu çalışmacıların ilgisini çekmiş ve literatürde çok sayıda çalışma yapılmıştır (Marzouk et al., 2024). Ancak çalışmalar hala yetersizdir. Ayrıca camilerin mimari ve tasarımsal özelliği; caminin bulunduğu bölgenin inşa teknikleri, malzeme özellikleri, iklim ve topoğrafyası, kültürel özellikleri gibi etkenlerden kaynaklı değişiklik gösterdiği için bu konuda ortak bir görüş oluşması mümkün değildir (Dwela & Kayili, 2023).

Bu çalışma, HBIM metodolojisi kullanılarak enerji performans analizlerinin nasıl yapılacağına dair bir yöntem ortaya koymayı hedeflemektedir. Çalışma kapsamında tarihi camilerde enerji kavramının önemi de yapılan literatür taramasıyla ortaya konulacaktır.

Ayrıca çalışmanın benzer yapı grupları için de rehber niteliği taşıması hedeflenmektedir.

2. YAPILARDA ENERJİ TÜKETİMİ

Enerji tüketiminde yapı sektörünün ciddi bir rolü vardır (Zhang et al., 2020). Toplam enerji tüketiminin %40’ı yapı sektörü tarafından kullanılmaktadır (A. Atmaca & Atmaca, 2015). Bu sektörde yapılacak olan iyileştirmeler büyük önem taşımaktadır. Bunun farkında olan araştırmacılar bu alana yönelmiş ve çeşitli araştırmalar, stratejiler, uygulamalar ve yöntemler oluşturmuşlardır (Marzouk et al., 2024). Yapı sektöründe enerji tüketimindeki kontrolsüzlükler enerji kaynaklarının azalması, küresel ısınma, karbon salınımı ve çevresel bozulmalara sebep olmaktadır (Anaç et al., 2024). Enerji kullanımının kontrollü olarak sağlanması enerji tüketimindeki kontrolsüzlüğün giderilmesi için büyük önem taşımaktadır (Mariano-Hernández et al., 2021). Yapılardaki enerji tüketiminin yönetimi ve kontrolünün sağlanması için ‘Enerji Yönetim Sistemleri’ kurulmuştur (Reksoprodjo et al., 2023). Bu sistemler, enerji ve maliyet tasarrufu sağlamanın yanı sıra CO2 emisyonları ve sera etkisinde de azalmalar sağlamaktadır (Abd Rahman et al., 2023).

Enerji tüketiminde tasarrufun sağlanması, sürdürülebilir kalkınmanın önemli hedeflerinden biridir (Abd Rahman et al., 2023). Sürdürülebilir, enerji etkin yapı uygulamaları son zamanlarda popüler hale gelmiş, bazı sürdürülebilir uygulamalar yönetmeliklere eklenmiştir. Konuya dair çalışmalar artmış olmakla birlikte enerji güçlendirilmesine dair bilgi birikimi dağınık bir haldedir (Madushika et al., 2023).

2.1. Tarihi Yapılarda Enerji Tüketimi

Yapı sektörünün önemli bir parçası olan tarihi yapılar, kültürün bir yansımasıdır (Ferretti et al., 2014). Bu yapıların sürdürülebilirliğinin sağlanması, sosyal ve çevresel açıdan önemlidir (Spigliantini et al., 2019). Bu yüzden tarihi yapılarda enerji tasarruf çalışmaları önemli faaliyetlerdir. Ancak tarihi yapılara müdahale, diğer yapı türlerine göre farklı ve hassas bir konudur. Bunun sebebi, yapıların kültürel miras değeri taşıması ve geçmişe dair bir belge

niteliğinde olmasıdır. Kültürel değerini koruyup, orijinalini bozmayarak yönetmelik ve şartnamelere uygun uygulamalar yapılabilir (Galatioto et al., 2017). Tarihi bir yapının sürdürülebilirliğinin ve enerji optimizasyonunun sağlanması hem kültürel mirasın korunması hem de yapının enerji tüketim standartlarına uygun olup, çevresel olumsuz etkilerinin azaltılması gibi çok boyutlu önem arz etmektedir.

Türkiye’de birçok yapı savaşlar, doğal afetler, yanlış restorasyon ve koruma müdahaleleri sonucu yok olmuştur (Yetkin, 2020). Buna rağmen Türkiye’de çok sayıda çeşitlilik gösteren bir tarihi yapı stoğu bulunmaktadır (Somuncu, 2015). Türkiye’de, tarihi yapıların sürdürülebilirliğinin sağlanması ve enerji verimliliğinin artırılması konusunda henüz çok az sayıda çalışma vardır. Bu alanda çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Şahin et al., 2015).

2.2. Camilerde Enerji Tüketimi

Camiler, Müslümanların ibadet etmek için kullandıkları mekanlardır. Namaz kılmak, vaaz dinlemek, dini etkinlikleri gerçekleştirmek gibi sebeplerle kullanılır. Bu mekanların mimari özellikleri kültürel, bölgesel ve iklimsel farklılıklardan kaynaklı değişiklik göstermektedir (I. Budaiwi & Abdou, 2013). Yapısal tasarımında farklılıklar görülmekle birlikte hepsi Müslümanların kiblesi olarak kabul edilen Suudi Arabistan’da bulunan Mekke şehrindeki Kâbe’ye yönlendirilmiştir (A. B. Atmaca et al., 2021).

Camiler, tasarımsal ve işleyiş olarak diğer yapı türlerine göre farklılıklar göstermektedir. Genel olarak namaz kılmak için kullanıldığından beş vakit (sabah, öğle, ikindi, akşam, yatsı) namaz dışında boş kalmaktadır. Literatürde ‘aralıklı doluluk yaşanan yapılar’ olarak adlandırılırlar. Bu değişkenlerden dolayı enerji tüketiminde systemsizlik ve performans kaybı ortaya çıkmaktadır (Alharbi et al., 2020). Camiler, büyük hacimli olması ve aralıklı kullanıma sahip olmasından dolayı diğer yapı türlerine oranla daha fazla enerji tüketmektedir (Alharbi, 2023). Ancak bu yapılar, enerji tasarrufu için önemli bir potansiyeli içerisinde barındırmaktadır. Mevcut potansiyellerini kullanarak enerji etkin hale getirmek için daha derin çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (I. Budaiwi & Abdou, 2013).

Isıtma-soğutma sistemleri, iç ve dış aydınlatma, ses sistemleri, su ısıtıcıları gibi etkenler camilerdeki enerji tüketiminin temelini oluşturmaktadır (Almasri et al., 2023). Bu etkenlerde yapılacak iyileştirmelerin, caminin sürdürülebilirliğini ve enerji optimizasyonunu arttıracığı düşünülmektedir (Reksoprodjo et al., 2023). Yapıldıkları bölgeye göre kible yönü, coğrafi şartları, yapı malzemeleri ve iklim şartları değişiklik gösterdiği için bu alandaki çalışmalarda standart bir görüşün benimsenmesi mümkün değildir (Dwela & Kayili, 2023).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

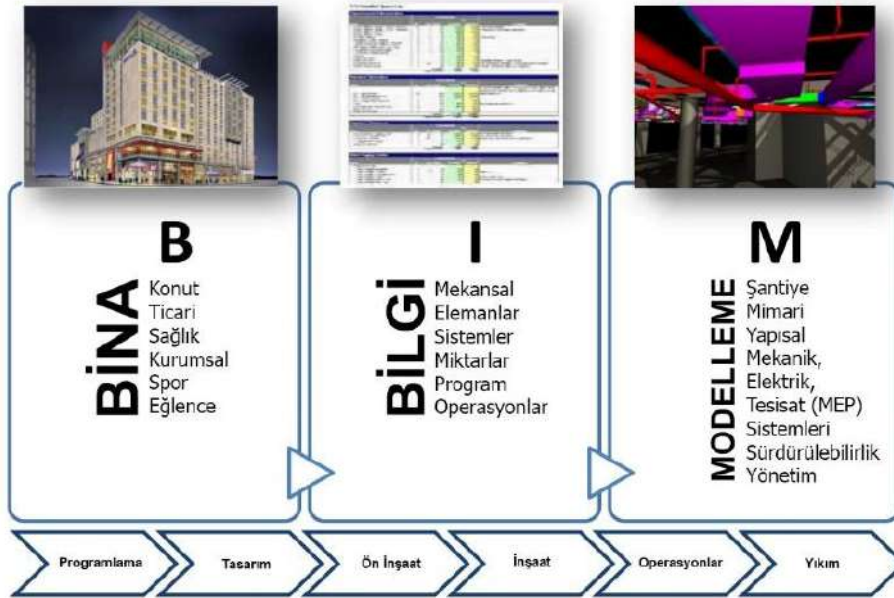
Bina enerji simülasyon programlarının kullanılması, enerji tüketimini etkileyen faktörlerin değerlendirilmesinde uygun bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Vandenbogaerde et al., 2023). Yapılacak olan çalışmaya uygun enerji simülasyon araçlarının seçilmesi, güvenilir ve başarılı bir enerji analizi için önem taşımaktadır (I. M. Budaiwi, 2011). Bu analiz için en güvenilir teknoloji bilgisayar tabanlı simülasyon yöntemidir (Al-Tamimi et al., 2020).

Tarihi yapıların, bina enerji simülasyonlarının oluşturulmasında diğer yapılara göre çeşitli zorluklar bulunmaktadır. Bunun nedeni, simülasyon araçlarının genel olarak yeni yapı teknolojileriyle uyumlu olmasından kaynaklanmaktadır (Lucchi, 2022). Bu alanı daha uyumlu

hale getirmek için daha çok tarihi yapı dijital kütüphanesi oluşturulmalıdır. Bu yöntem sayesinde doğru restorasyon ve arşivleme sistemiyle kültürel mirasın, gelecek nesiller için kalıcılığı artmış olacaktır. Ayrıca bu yapılara ait verilere ulaşılabilecek belgeler ve kaynakların farklı formatlarda, farklı kişi ve kurumlarda olmasından kaynaklı düzensizlik giderilmiş olacaktır (Anaç & Arun, 2023).

3.1. BIM

Karmaşık ve parçalı yapıda olan inşaat sektöründe, projenin yapımından yıkımına kadar çok katmanlı bir süreç mevcuttur. Bu karmaşayı azaltmak ve proje paydaşlarını ortak bir zeminde buluşturmak için yeni teknolojiler geliştirilmiştir (Al-Ashmori et al., 2020). Bu teknolojilerden biri de BIM'dir. BIM, birçok sistemi içerisinde barındıran bir dizi araç, süreç, yazılım ve teknolojidir (Rybin et al., 2019). Mimarlık, mühendislik, işletme, muhasebe gibi farklı sektörleri içinde bulunduran entegre bir oluşumdur (Succar, 2009).



Görsel 1. BIM Kavramının Görsel Temsili, (Azhar et al., 2012)

BIM, yapının yaşam döngüsü boyunca proje verileri ve üç boyutlu modelin dijital formatta yönetilmesini sağlayan bir metodoloji olarak da tanımlanabilir (Carvalho et al., 2019). Bu teknolojinin;

- Projenin verimliliğini ve üretkenliğini artırma
- Yapılacak değişikliklerden kaynaklı zaman ve maliyet tasarrufu
- İnşaat aşamalarının sistematize edilmesi
- Farklı birimler arasındaki iletişimi iyileştirip senkronizasyonu sağlamak
- Zaman yönetiminin sağlanması
- Fizibilite ve saha çalışmalarının projeye entegrasyonu
- Daha az insan gücü ve kaliteli iş

gibi birçok avantajları mevcuttur (Al-Ashmori et al., 2020).

3.2. HBIM

BIM, yeni yapıların tasarım ve inşasına odaklı bir teknolojidir. Kütüphanesi ve araçları, basit, düzenli ve standartlaşmış nesnelere oluşmaktadır (López et al., 2018). BIM platformunda, parametrik nesne kütüphaneleri, lazer tarama verileri, tarihsel mimari veriler kullanılarak tarihi yapının modellenmesi HBIM kavramıyla ifade edilmektedir (Murphy et al., 2009).

HBIM teknolojisi sayesinde tarihi yapının gerçeğe yakın üç boyutlu model gösterimi ortaya konmuş olur. Kültürel mirasın modelinin oluşturulması ve belgelenmesi gibi sayısız avantaj sunmaktadır (Karasaka & Ulutas, 2023). Birçok avantajı olmasına rağmen kullanımı yaygın değildir (Anaç & Arun, 2023).



Görsel 2. HBIM aşamaları (Jordan-Palomar et al., n.d.).(çeviri:(Kömürcü, 2021))

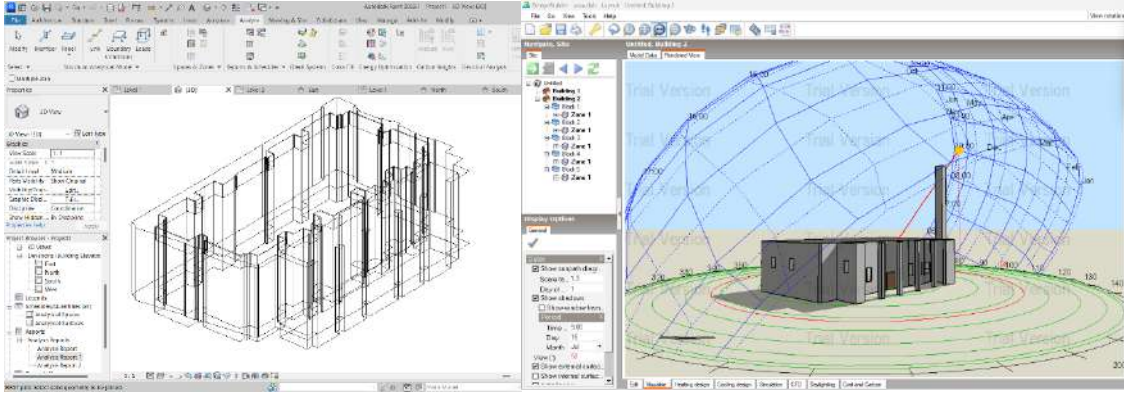
HBIM'in;

- ✓ Müdahale aşamalarında temsil modeli sunması
- ✓ Bilgisayar ile senkronize veri tabanı oluşturması
- ✓ Miras yapılarına ait verilerin olduğu dijital model kütüphanesi ortaya koyması avantajlarından bazılarıdır (Jordan-Palomar et al., 2018).

4. BULGULAR VE SONUÇ

Tarihi camilerde enerji tüketiminin önemini ortaya koymak için bu konuyla ilişkili araştırmalar yapılmış, elde edilen veriler çalışmada sunulmuştur. Bu çalışmada, tarihi bir yapının enerji tüketiminin nasıl analiz edileceğine dair bir yöntem sunulmuştur.

Bu çalışmaya uygun enerji simülasyon aracı olarak HBIM platformu seçilmiştir. Bu platformu tanıtlıp avantajları ortaya konmuştur. HBIM tabanlı Autodesk Revit programı kullanılarak oluşturulan yapı modelinin daha detaylı enerji analizleri için yine bu uygulamayla uyumlu DesingBuilder programı kullanılmıştır.



Görsel 3-4. Autodesk Revit yapı modeli ve DesingBuilder enerji modeli, Hatice KARDAŞ

Yapı elemanlarının ısı geçirgenlik katsayısı, kapı-pencere yüzey alanları, ısıtma-soğutma sistemleri, aydınlatma, malzeme seçimi, yapının konumu gibi bilgiler programa öğretilerek daha detaylı enerji analizlerinin yapılması sağlanır.

Sonuç

Bu çalışmada Tarihi yapılarda enerji tüketiminin önemi, yapılan literatür çalışmasıyla ortaya konulmuştur. Ayrıca çalışma, tarihi bir yapının enerji analizlerinin nasıl yapılacağına, hangi programlar kullanılabileceğine dair bir yöntem sunmaktadır.

Çalışmada kullanılan HBIM teknolojisinin, tarihi yapı için aynı zamanda arşiv niteliği taşıyacağı da görülmüştür. Bu teknoloji aynı zamanda tarihi yapının 2D çizimleri, 3D modelleri ve yapısal özelliklerinin detaylı bir şekilde tanımlandığı, ortak platformda toplandığı bir belge niteliği de taşımaktadır. Bu sayede tarihi yapıya ait verilere farklı kişi, kurum ve kuruluşlardan değil, tek elden ulaşılabilecektir. Sonuç olarak, HBIM platformunda oluşturulan model tarihi yapıya dair tüm verileri içinde barındıran dijital bir arşiv niteliği taşımaktadır.

Tarihi yapıların enerji tüketiminin değerlendirmesinde HBIM tabanlı analizlerin yenilikçi bir yaklaşım sunduğu görülmektedir. Yapılacak olan enerji iyileştirme çalışmalarıyla bu yapıların sürdürülebilirliği artırılabilir. Bu durum, toplumsal, sosyo-kültürel ve çevresel açıdan önem arz etmektedir. Ancak yapılacak olan müdahaleler tarihi yapının özgünlüğünü bozmayacak şekilde olmalıdır. Bu gibi çalışmalarda tarihi yapıların enerji performansını artırırken, kültürel mirasın korunması amacıyla farklı paydaşların (mimarlar, mühendisler ve koruma uzmanları) koordine halinde çalışması büyük önem taşımaktadır.

5. KAYNAKÇA

1. Abd Rahman, N. A., Kamaruzzaman, S. N., Akashah, F. W. & Amran, A. A. Energy efficiency compliance towards benchmarking for intermittent use religious buildings. *Facilities* 41, 705–724 (2023).
2. Al-Ashmori, Y. Y. *et al.* BIM benefits and its influence on the BIM implementation in Malaysia. *Ain Shams Engineering Journal* 11, 1013–1019 (2020).
3. Alharbi, E. Significant Design Stage Parameters Influencing the Energy Consumption of Mosque Buildings : Delphi Approach. (2023).
4. Almasri, R. A., Al-Anazi, M. A., Almarshoud, A. F., Alshitawi, M. S. & Abu-Hamdeh, N. H. Investigating energy efficiency and solar energy in Saudi mosques to achieve zero energy or zero bill. *Alexandria Engineering Journal* 68, 263–280 (2023).
5. Al-Tamimi, N., Qahtan, A. & Abuelzein, O. Rear zone for energy efficiency in large mosques in Saudi Arabia. *Energy Build* 223, 110148 (2020).

6. Anaç, M. & Arun, E. G. HBIM destekli arşiv modeli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 39, 443–460 (2023).
7. Anaç, M., Cuce, P. M. & Cuce, E. Passive sustainability strategies in traditional Gaziantep residences: a critical report on historical development. *International Journal of Low-Carbon Technologies* 19, 245–256 (2024).
8. Atmaca, A. & Atmaca, N. Life cycle energy (LCEA) and carbon dioxide emissions (LCCO_{2A}) assessment of two residential buildings in Gaziantep, Turkey. *Energy Build* 102, 417–431 (2015).
9. Atmaca, A. B., Gedik, G. Z. & Wagner, A. Determination of optimum envelope of religious buildings in terms of thermal comfort and energy consumption: Mosque cases. *Energies (Basel)* 14, (2021).
10. Azhar, S., Khalfan, M. & Maqsood, T. Building Information Modeling (BIM): Now and Beyond. (2012) doi:10.3316/informit.013120167780649.
11. Bonilla, D., Samaniego, M. G., Ramos, R. & Campbell, H. Practical and low-cost monitoring tool for building energy management systems using virtual instrumentation. *Sustain Cities Soc* 39, 155–162 (2018).
12. Budaiwi, I. & Abdou, A. HVAC system operational strategies for reduced energy consumption in buildings with intermittent occupancy: The case of mosques. *Energy Convers Manag* 73, 37–50 (2013).
13. Budaiwi, I. M. Envelope thermal design for energy savings in mosques in hot-humid climate. *J Build Perform Simul* 4, 49–61 (2011).
14. Carvalho, J. P., Bragança, L. & Mateus, R. Optimising building sustainability assessment using BIM. *Autom Constr* 102, 170–182 (2019).
15. Dwela, H. & Kayili, M. T. The Determination of the Retrofitting Strategies on Thermal Comfort and Energy Efficiency of Mosques: The Case of Yasamkent Mosque. *Computational Research Progress in Applied Science & Engineering* 9, 1–10 (2023).
16. Emad Ameen Alharbi et al., E. A. A. et al. ,. Prediction Model to Reduce Energy Consumption of Mosque Buildings, Review Paper. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development* 10, 12689–12706 (2020).
17. Ferretti, V., Bottero, M. & Mondini, G. Decision making and cultural heritage: An application of the Multi-Attribute Value Theory for the reuse of historical buildings. *J Cult Herit* 15, 644–655 (2014).
18. Galatioto, A., Ciulla, G. & Ricciu, R. An overview of energy retrofit actions feasibility on Italian historical buildings. *Energy* 137, 991–1000 (2017).
19. Jordan-Palomar, I., Tzortzopoulos, P., García-Valdecabres, J. & Pellicer, E. Protocol to Manage Heritage-Building Interventions Using Heritage Building Information Modelling (HBIM). doi:10.3390/su10030908.
20. Karasaka, L. & Ulutas, N. Point Cloud-Based Historical Building Information Modeling (H-BIM) in Urban Heritage Documentation Studies. *Sustainability (Switzerland)* 15, (2023).
21. Kömürcü, E. Historic Building Information Modelling (HBIM). *Proceedings of the International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism-ICCAUA* 4, 589–597 (2021).
22. López, F. J., Lerones, P. M., Llamas, J., Gómez-García-Bermejo, J. & Zalama, E. A review of heritage building information modeling (H-BIM). *Multimodal Technologies and Interaction* 2, (2018).
23. Lucchi, E. Energy Efficiency of Historic Buildings. *Buildings* 12, 10–12 (2022).
24. Madushika, U. G. D., Ramachandra, T., Karunasena, G. & Udakara, P. A. D. S. Energy Retrofitting Technologies of Buildings: A Review-Based Assessment. *Energies (Basel)* 16, 1–16 (2023).

25. Mariano-Hernández, D., Hernández-Callejo, L., Zorita-Lamadrid, A., Duque-Pérez, O. & Santos García, F. A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis— *Journal of Building Engineering* 33, (2021).
26. Marzouk, M., El-Maraghy, M., El-Shihy, A. & Metawie, M. Evaluating energy retrofit strategies in enhancing operational performance of mosques: A case study of Al-Imam Al-Hussein Mosque. *Cleaner Energy Systems* 9, 100144 (2024).
27. Murphy, M., MCGovern, E. & Pavia, S. Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey* 27, 311–327 (2009).
28. Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. & Pout, C. A review on Building energy consumption information. *Energy Build* 40, 394–398 (2007).
29. Reksoprodjo, A. A., Sakti, B. A., Habiburrahman, M., Kirana, M. N. & Vince, W. Analysis and Improvement of Energy Consumption for Indonesia Mosque. (2023) doi:10.46254/an13.20230235.
30. Rybin, E. N., Ambaryan, S. K., Anosov, V. V., Galcev, D. V. & Fakhratov, M. A. BIM technology. *Journal «Izvestiya vuzov. Investitsiyi. Stroyitelstvo. Nedvizhimost»* 9, 98–105 (2019).
31. Seydioğulları, H. S. Sürdürülebilir Kalkınma için Yenilenebilir Enerji. *Planlama* 23, 19–25 (2013).
32. Somuncu, M. Türkiye’ de İnanç Turizmi: Bugünkü Durum, Sorunlar ve Gelecek. (2015).
33. Spigliantini, G., Fabi, V., Schweiker, M. & Corgnati, S. Historical buildings’ energy conservation potentialities: A methodology focused on building operation. *International Journal of Building Pathology and Adaptation* 37, 306–325 (2019).
34. Succar, B. Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Autom Constr* 18, 357–375 (2009).
35. Şahin, C. D., Arsan, Z. D., Tunçoku, S. S., Broström, T. & Akkurt, G. G. A transdisciplinary approach on the energy efficient retrofitting of a historic building in the Aegean Region of Turkey. *Energy Build* 96, 128–139 (2015).
36. Topraklı, A. Y. & Satır, M. S. Analysis of evacuation time of historical mosques of 15th and 16th centuries in Turkey. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 39, 1953–1962 (2024).
37. Vandenbogaerde, L., Verbeke, S. & Audenaert, A. Optimizing building energy consumption in office buildings: A review of building automation and control systems and factors influencing energy savings. *Journal of Building Engineering* 76, 107233 (2023).
38. Yetkin, E. G. Sürdürülebilir Mimari Bağlamında Ülkemiz Tarihi Yapıları İçin Yeşil Bina Değerlendirme Modeli Önerisi. *Sustainability (Switzerland)* 14, 1–4 (2020).
39. Zhang, C. *et al.* A hybrid deep learning-based method for short-term building energy load prediction combined with an interpretation process. *Energy Build* 225, 110301 (2020).

TAVŞANCIL'DA TARİHİ AHŞAP BİR YAPININ ISIL PERFORMANS ANALİZİ THERMAL PERFORMANCE ANALYSIS OF A HISTORICAL WOODEN BUILDING IN TAVŞANCIL

Mimar Bilge DÜMEN DERELLİ*

Gebze Teknik Üniversitesi/ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
bderelli@gtu.edu.tr- ORCID ID 0009-0009-1377-9782

Prof. Dr. Cahide AYDIN İPEKÇİ

Gebze Teknik Üniversitesi/Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
caipekci@gtu.edu.tr - ORCID ID 0000-0003-3170-4628

ÖZET

Son yıllarda enerji maliyetlerini düşürmek ve emisyonları azaltmak gibi sebeplerle binalarda enerji verimliliği önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Yapılan çalışmalar, binaların mevcut enerji verimliliği ve termal konfor standartlarına göre uyarlanmasının, sürdürülebilirlik ve enerji performansını artırmada önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, miras binalarının enerji performansının iyileştirilmesi gerektiği de tartışılmaktadır. Bu bağlamdaki gereksinimler, geleneksel yapı onarımlarında da dikkate alınarak, enerji verimliliğini artırmaya yönelik güncel malzeme kullanımlarıyla çözülmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada Kocaeli, Tavşancıl ilçesinde, yıkılmak üzere olup rekonstrüksiyonu gerçekleştirilen geleneksel bir ahşap konutun, uygulama sonrası yapı kabuğu ile ilk özgün yapı kabuğu arasında enerji verimliliği yönünden karşılaştırma yapılmasına çalışılmıştır. Yöntem olarak, ahşap yapı “DesignBuilder” enerji performans programında rekonstrüksiyon hali ve özgün hali olarak ayrı ayrı modellenmiştir. Yapının enerji performansını arttırmak amacı ile özgünden farklı olarak çatı ve dış duvarlarda ahşap karkas arasına taşıyıcı uygulanmış, pencere camları ısı yalıtımlı çift cam seçilmiştir. Ayrıca özgün halinde sadece toprak olan temele günümüz sistemine uygun betonarme temel üzeri kaplama yapılmıştır. Isıtma sistemi olarak doğalgaz uygulanmıştır. Model sonuçlarının sadece malzeme ve yapı kabuğu olarak değerlendirilmesi amacı ile yapının ilk dönemi için de ısıtma yöntemi yine doğalgaz olarak modellenmiştir. Yapının kullanım amacı, yaşayan kişi sayısı vb. veriler iki durum için de aynı alınmıştır. Yapılan araştırma sonuçlarında; yapının ilk özgün durumunda yıllık ısıtma ihtiyacı 8.821,2 kWh, yapının uygulama sonrası son durumunda ise yıllık ısıtma ihtiyacı 7.071,91 kWh olduğu görülmüştür. Yapılan iyileştirmelerin etki düzeyini görmek için iyileştirmeler ayrı ayrı modellenmiştir. Sonuç olarak camların ısı yalıtımlı çift cam yapılması yıllık 598,79 kWh, zeminin toprak yerine beton temel olması yıllık 68,12 kWh, çatı arasında ve dış bağdadi duvar arasında taş yünü kullanımı ise yıllık 1.143,38 kWh tasarruf sağladığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Geleneksel Ahşap Yapılar, Isıl Performans, Enerji Verimliliği, Kocaeli, Bina Enerji Simülasyonu

*Yüksek Lisans Öğrencisi

1. GİRİŞ

Sanayileşmenin hızlanması, nüfus artışı, deniz aşırı ticaretin yaygınlaşması, tüketim alışkanlıklarının değişmesi ve teknolojinin gelişmesi gibi faktörler enerji talebini süregelen biçimde artırmaktadır. Büyüyen enerji talebi ise çevre ve doğal kaynaklar üzerinde daha fazla baskı yaratmakta ve zaman zaman arz güvenliğine yönelik endişeleri artırmaktadır. Enerji talebi bu şekilde büyürken hem çevresel sürdürülebilirliğin hem de toplumsal huzur ve refahın temini için enerji verimliliği uygulamalarının yaygınlaştırılması en öncelikli seçenek haline gelmektedir [1].

Avrupa Birliği'nde binalar toplam enerji tüketiminin %40'ını oluşturmakla birlikte mevcut yapı stoğu enerji verimliliği konusunda önemli potansiyele sahiptir. Mevcut yapı stoğu arasında yer alan tarihi yapılarda enerji verimliliği söz konusu olduğunda farklı davranılmalıdır. Bu yapıların kültürel, tarihi, anıt eser özelliklerinin yaşatılabilmesi için enerji verimliliği uygulamalarının gerçekleştirilmesinde özen gösterilmesi gerekmektedir [2].

Literatüre baktığımızda, enerji maliyetlerini ve karbon emisyonlarını azaltmak için yürütülen bilimsel çalışmaların arttığı görülmektedir. Mevcut yapılarda kullanılan doğalgaz, elektrik gibi enerji tüketimini düşürmek ve konforu arttırmak da bu çalışmalar arasındadır.

İtalya Abruzzo bölgesinde bulunan tarihi yapılar üzerine yapılan bir çalışmada yöresel yapıım teknikleri, yapı tiplerinin tarihsel analizi ile birlikte incelenerek yapılarda higrotermal konfora ulaşma ihtiyacı araştırılmış, enerji verimliliklerini arttırmak için müdahaleler önerilmiştir [3].

En son 5. si 7-9 Ekim 2024 tarihlerinde düzenlenen Tarihi Binalarda Enerji Verimliliği Uluslararası Konferansları (International Conference on Energy Efficiency in Historic Buildings EEHB) geleneksel binaların, dünya bina stoğunun önemli ve büyüyen bir oranını temsil ettiğini, bu binaların tarihi dokusuna saygı gösterirken enerji verimliliğinin artırılmasına da katkı sağlayan çözümlere ihtiyaç duyulduğuna değinmektedir [4].

“5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu” ve buna bağlı olarak 5/12/2008 tarih ve 27075 sayılı Resmi gazetede yayınlanan “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nin 2. Maddesinin 1. fıkrası (d) bendinde; “Korunması gerekli kültür varlığı olarak tescil edilen binalarda, enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik önlemler ve uygulamalar ile ilgili, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulunun görüşünün alınarak bu görüş doğrultusunda yapının özelliğini ve dış görüntüsünü etkilemeyecek biçimde enerji verimliliğini artırıcı uygulamaların yapılmasına ilişkin iş ve işlemleri kapsar.” Maddesine baktığımızda tarihi yapılar ile ilgili de iyileştirmelerin ve bu doğrultuda enerji kimlik belgesi düzenlenebileceği söylenebilir. Ülkemizde kullanımda olan tarihi yapıların enerji performansının araştırılması bu yapıların konfor koşullarının arttırılmasına yönelik çalışmaları geliştirebilir.

Bu çalışmada Kocaeli ili, Tavşancıl ilçesinde, yıkılmak üzere olup rekonstrüksiyonu gerçekleştirilen geleneksel bir ahşap konutun, ilk özgün yapı durumu ve kullanılan bazı güncel malzemeler ile uygulama sonrası durumu arasında enerji verimliliği yönünden karşılaştırma yapmaktır. Araştırmada yapının enerji performansına direk etki eden cephe ve çatı kabuğuna odaklanılmıştır. Ayrıca söz konusu yapının yeniden yapıma sürecince statik gereksinimler sebebiyle temel sisteminde yapılan değişiklikler de ele alınmıştır.

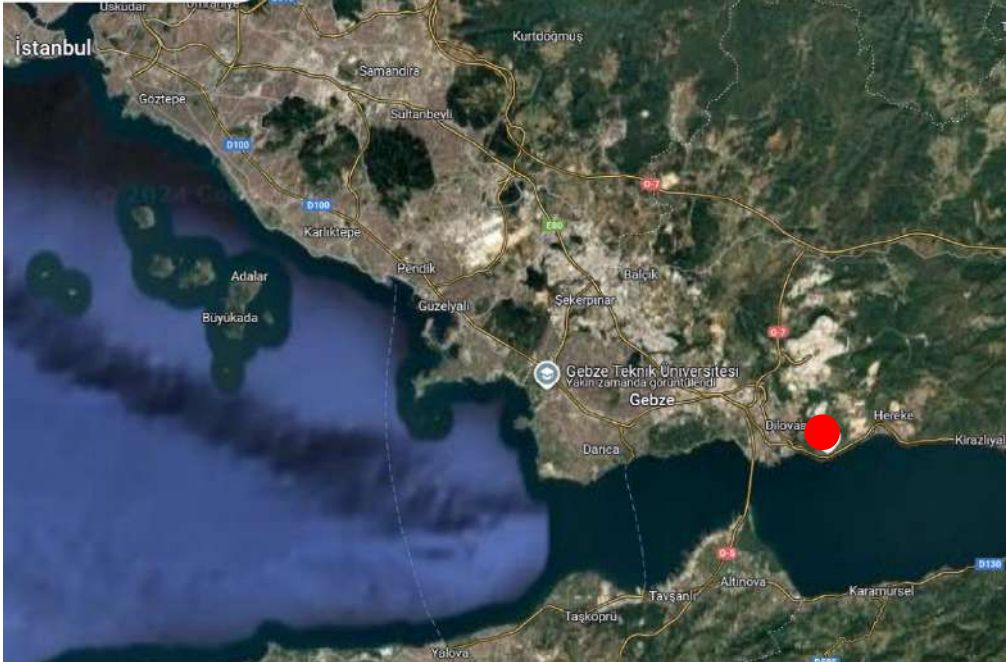
Kocaeli, Tavşancıl ilçesinde bulunan ahşap yapı, projesi ve uygulama süreci, DesignBuilder enerji simülasyon programı, TS 825 standardı ve ekleri materyal olarak kullanılmıştır. Ek olarak, konu ile ilgili ulusal ve uluslararası yayınlardan ve veri tabanlarından yararlanılmıştır.

Yöntem olarak, DesignBuilder enerji performans programında ahşap yapı, rekonstrüksiyon hali ve özgün hali olarak ayrı ayrı modellenmiştir.

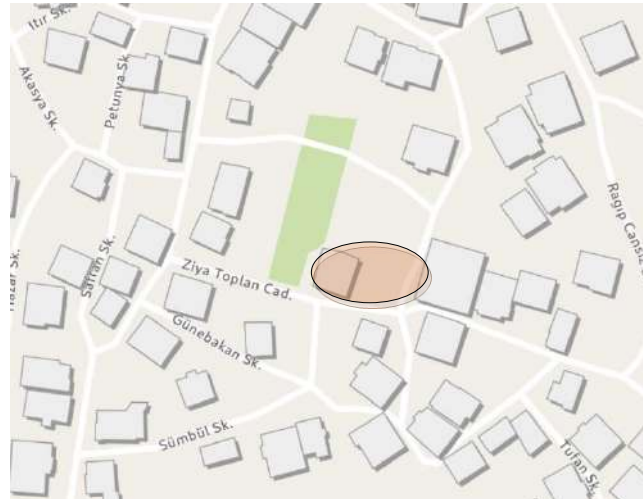
2. Çalışma Alanı

2.1. Kocaeli Tavşancıl Bölgesi Tavşancıl Evi

Araştırma konusu yapı Türkiye'nin Marmara Bölgesi, Kocaeli İli, Dilovası İlçesinde, Türk geleneksel konut mimari örneklerinin sık olduğu Tavşancıl mahallesindedir. Kocaeli körfezinin hemen kuzeyinde yer alan Tavşancıl mahallesinin (Görsel 1), deniz seviyesinden yüksekliği, ortalama 190 metredir [5]. Tavşancıl'ın Ziya Toplan caddesinde (Görsel 2) yer alan yapı 500 m² arsa içerisinde 72 m² oturma alanına sahip iki katlı ve toplam alanı 153 m²'dir.



Görsel 1. Tavşancıl'ın konumunu gösteren Uydu Fotoğrafi (Google Maps)



Görsel 2. Yapı çevresi haritası (Kocaeli Şehir Rehberi)

Türk geleneksel yapı tipine uygun olan, zemin katı kuzeyde taş ve güneyde ahşap karkas arası taş dolgu duvar, 1. Katı ise içten ahşap karkas üzeri bağdadi dışı ahşap kaplama olan bir yapıdır. Dış cephede 3 cm ahşap kaplama mevcuttur. Birinci ve zemin katın neredeyse tamamı yıkılmış olan yapının röleve restitüsyon ve rekonstrüksiyon projeleri “B. Kartal Mimarlık” tarafından, rekonstrüksiyon uygulaması ise 2016 yılında Kocaeli Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılmıştır. Günümüzde kurs binası olarak kullanılmaktadır. Yapı etrafında komşu bir yapı bulunmamaktadır Güney cephesi yol kenarında, doğu, kuzey ve batı cephesi bahçe içerisinde.

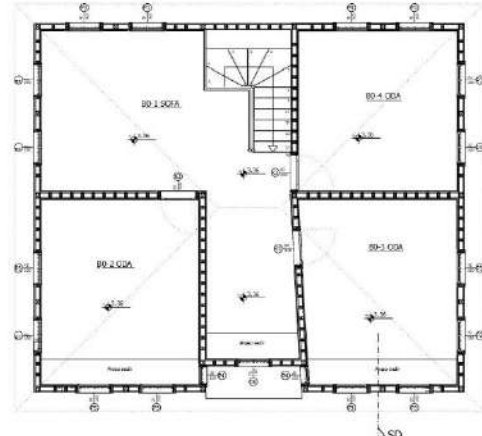
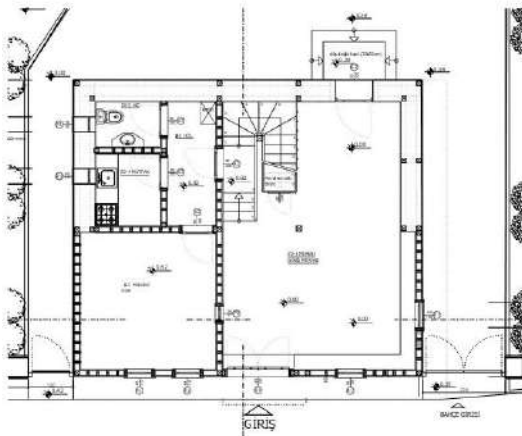


Görsel 3. Yapının uygulama öncesi özgün durumu (B. Kartal Mimarlık)



Görsel 4. Yapının rekonstrüksiyon süreci-Güney Cephe (2016)

Zemin katta ön ve arkaya kapısı olan hayat mahali, zeminden 80 cm yüksekte bir oda wc, ve mutfak yer alır. 1. katta merdivenden sofaya çıkılmaktadır. Sofa etrafında güneydoğu ve güneybatıya bakan 2 oda ve kuzeydoğuya bakan bir oda olmak üzere 3 oda bulunmaktadır. Yapı malzemeleri olarak zemin katta kuzey, doğu ve batı cephelerinin yarı kısmında kadar taş duvar ve üzeri kıtıklı kireçli sıva bulunmaktadır. Güney cephe doğu ve batının bir kısmı ise ahşap karkas arası taş dolgu üzeri kıtıklı kireç sıva ve dış kısmı ahşap kaplamadır. 1. kat duvarlar ahşap karkas bağdadi çıta ve üzeri kıtıklı kireçli sıvadır. Yeni müdahale olarak 1. katta duvar arasına 8 cm taşıyıcı eklenmiştir. Çatı geleneksel alaturka kiremitli kırma çatıdır. Zemin kat tavanı ahşap kirişler üzeri ahşap döşeme olup 1. kat tavanı çıtalı ahşap tavanıdır.



Görsel 5. Zemin Kat Planı

2.2. DesignBuilder Bina Enerji Simülasyon Modeli

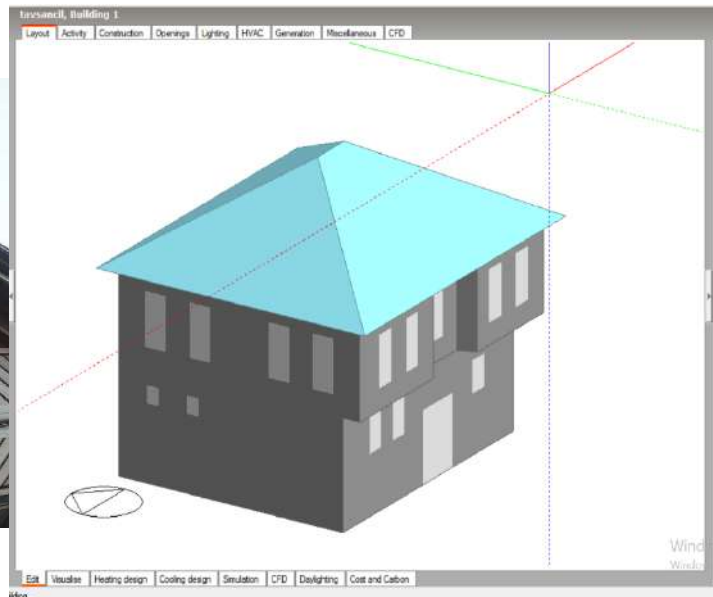
DesignBuilder, 3D modelleme arayüzüne sahip ve simülasyonlarda hesaplama metodolojisi olarak EnergyPlus (EP 2013) kullanan dinamik bir bina enerji simülasyon yazılımıdır. Yazılım, aydınlatma ve enerji modellemesi, CFD analizi, ısıtma ve soğutma sistemi tasarımı gibi farklı modelleme özelliklerine sahiptir. Sonuçlar, yıllık, aylık, günlük, saatlik ve alt saatlik zaman dilimlerine göre elde edilebilir ve değerlendirilebilir [6].

Bu çalışmada kullanılan Design Builder programı Version 7.0.2.006 öğrenci lisanslıdır. Simülasyon programına aşağıdaki veriler girilmiştir.

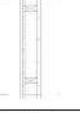


- İklim verileri; Yapının bulunduğu bölgenin iklim verileri seçilir.

Bina mimarisi, Zonlar (mahalller, odalar); Yapı uygulama projesine uygun olarak, malzeme farklılıkları baz alınarak rekonstrüksiyon hali ve özgün hali olarak ayrı ayrı modellenmiştir. Zemin katta zonlar arasında kot farkı olması sebebiyle iç bölme duvarlar modellenmiş zonlar belirtilmiştir. 1. katta ise cephe kabuğunun tamamen aynı olması sebebiyle iç bölme duvarlar modele dahil edilmemiş tek bir zone olarak modellenmiştir.





- Bina aktivitesi her iki durum için de konut olarak seçilmiştir. Kişi sayıları her iki model için de aynı alınmıştır.
- Isıtma sistemi olarak yapıda doğalgaz ısıtma sistemi bulunmaktadır. Simülasyon sonuçlarının sadece malzeme ve yapı kabuğu olarak değerlendirilmesi amacı ile teorik olarak yapının ilk dönemi için de ısıtma yöntemi yine doğalgaz olarak modellenmiştir.
- Yapının son durumunda soğutma sistemi olmaması sebebiyle modellerde soğutma sistemi öngörülmemiştir.
- Cam cephe, duvar, tavan, taban yapı katmanları ısıl iletkenlik değerleri; Yapının özgün haline göre ve rekonstrüksiyon uygulamasında kullanılan yeni malzemelere göre ayrı ayrı modellenmiştir. Isıl iletkenlik değerleri Çizelge 1, 2, 3 ve 4’te verilmiştir.
- Programa girilen veriler ile programdan seçilen verilerin doğrulaması adına duvar katmanlarının U değerleri $R_{top}=R_i+R_1+R_2+.....R_e$ formülü ile manuel olarak da hesaplanmış ve programda hesaplanan U değerleri ile karşılaştırılmıştır.




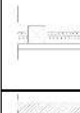


Görsel 7. Yapının rekonstrüksiyon sonrası durumu (2024) **Görsel 8. Yapının Modellenmesi (2024)**
Yapının enerji performansını arttırmak amacı ile özgünden farklı olarak çatı arasına (0,08 cm, 150 kg/m³) ve dış duvarlarda ahşap karkas arasına taşyünü (0,08cm, 70 kg/m³) uygulanmış, pencere camları özgün yapıda 3 mm tek cam olarak rekonstrüksiyon sonrası durumda uygulamaya uygun olarak ısı yalıtımlı 3mm+6mmH.B.+3mm çift cam seçilmiştir. Ayrıca özgün halinde sadece toprak olan temele günümüz sistemine uygun betonarme temel üzeri kaplama yapılmıştır.

Yapı Elemanı	Duvar Kalınlığı (m)	Katmanlar	Kalınlık d (m)	Isı İletim Katsayısı λ (W/mK)	Isı İletim Direnci R=d/λ (m ² K/W)
	0,175	-Ahşap kapım. -Durgun hava -Ahşap çita -Kıtlıklı Kireç sıva	0,03 0,1 0,015 0,03	0,13 0,13 0,5	0,23 0,18 0,12 0,06
	0,195	-Ahşap kapım -Taş Dolgu -Ahşap çita -Kıtlıklı Kireç sıva	0,03 0,12 0,015 0,03	0,13 0,70 0,15 0,5	0,23 0,17 0,11 0,06
	0,6 m	-Kıtlıklı Kireç sıva -Taş duvar -Kıtlıklı Kireç sıva	0,04 0,52 0,04	0,5 3,5 0,5	0,08 0,15 0,08
	0,21 m	-Kıtlıklı Kireç sıva -Ahşap çita -Durgun Hava -Ahşap çita -Kıtlıklı Kireç sıva	0,03 0,015 0,12 0,015 0,03	0,5 0,13 0,5	0,06 1,12 0,18 1,12 0,06

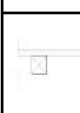



Çizelge 1. Yapının Özgün Hali Duvar Açılımları

Duvar Yapı Elemanı	Duvar Kalınlığı (m)	Katmanlar	Kalınlık d (m)	Isı İletim Katsayısı λ (W/mK)	Isı İletim Direnci R=d/λ (m ² K/W)
	0,175	-Ahşap kapım. -Taşyünü -Ahşap çita -Kıtlıklı Kireç sıva	0,03 0,08 0,015 0,03	0,13 0,038 0,13 0,5	0,23 2,10 0,12 0,06
	0,195	-Ahşap kapım -Taş Dolgu -Ahşap çita -Kıtlıklı Kireç sıva	0,03 0,12 0,015 0,03	0,13 0,70 0,13 0,5	0,23 0,17 0,13 0,06
	0,6 m	-Kıtlıklı Kireç sıva -Taş duvar -Kıtlıklı Kireç sıva	0,04 0,52 0,04	0,5 3,5 0,5	0,08 0,15 0,08
	0,21 m	-Kıtlıklı Kireç sıva -Ahşap çita -Durgun Hava -Ahşap çita -Kıtlıklı Kireç sıva	0,03 0,015 0,04 0,015 0,03	0,5 0,13 0,04 0,13 0,5	0,06 1,12 0,08 1,12 0,06

Çizelge 2. Yapının Rekonstrüksiyon Hali Duvar Açılımları

Yapı Elemanı	Kalınlığı (m)	Katmanlar	Kalınlık d (m)	Isı İletim Katsayısı λ (W/mK)	Isı İletim Direnci R=d/λ (m ² K/W)
	0,03	-Ahşap döşeme kapım. -Döşeme kirişi 10x12cm	0,03	0,13	0,23
	0,105	-Taşyünü -Tavan kaplama	0,08 0,025	0,035 0,13	2,28 0,19
	0,9 m	-Korosiman -Harç -Beton temel + Koruma betonu -Su yalıtımı -Grobeton -Blokaj	0,03 0,02 0,70 0,006 0,1 0,3	1,1 1,4 2,27 0,25 2,27 2,09	0,027 0,014 0,31 0,024 0,044 0,14
	1,73	-Ahşap döşeme kapım. -Durgun hava -Beton temel + Koruma betonu -Su yalıtımı -Grobeton -Blokaj	0,03 0,8 0,70 0,006 0,1 0,3	0,13 0,21 2,27 0,25 2,27 2,09	0,23 0,21 0,31 0,024 0,044 0,14

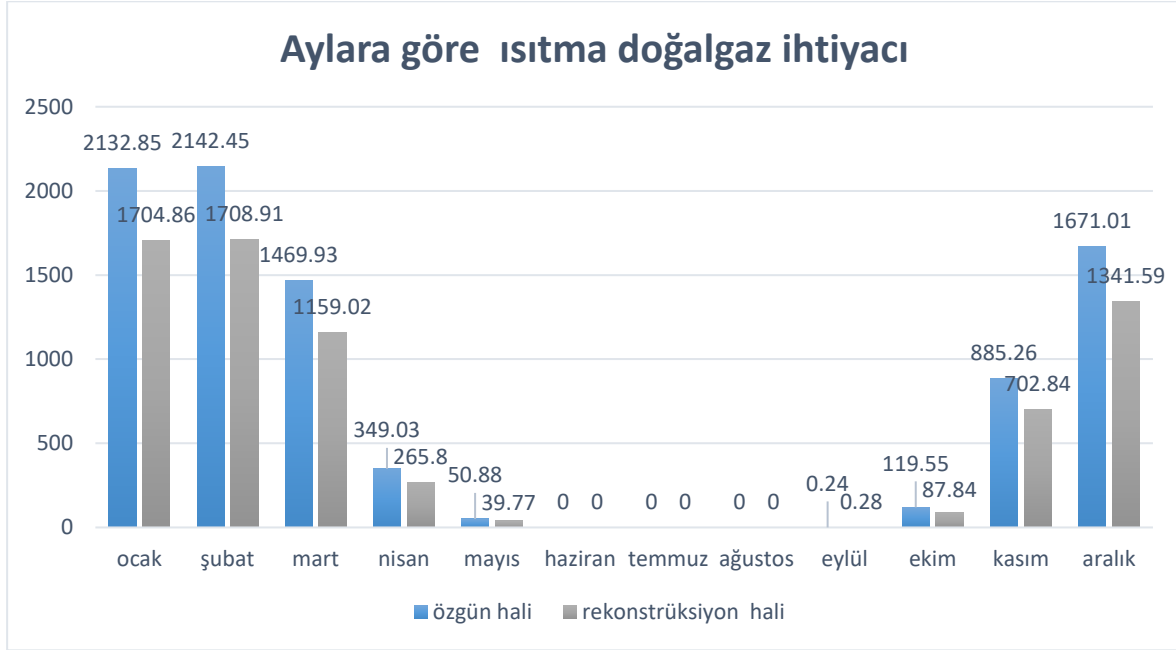
Çizelge 3. Yapının Özgün Hali Döşeme Açılımları

Yapı Elemanı	Kalınlığı (m)	Katmanlar	Kalınlık d (m)	Isı İletim Katsayısı λ (W/mK)	Isı İletim Direnci R=d/λ (m ² K/W)
	0,03	-Ahşap döşeme kapım -Döşeme kirişi 10x12cm	0,03	0,13	0,23
	0,025	-Tavan kaplama	0,025	0,13	0,19
	0,9	-Toprak	0,9	1,28	0,70
	1,73	-Ahşap döşeme kapım -Durgun hava -Toprak	0,03 0,8 0,9	0,13 0,21 1,28	0,23 0,21* 0,70

Çizelge 4. Yapının Rekonstrüksiyon Hali Döşeme Açılımları

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Designbuilder simülasyon programından elde edilen verilerden biri olan aylara göre yıllık doğal gaz ısıtma ihtiyacı, yapının ilk özgün durumunda yıllık 8.821,2 kWh olarak belirlenmiştir. Yapının rekonstrüksiyon uygulaması sonrası durumunda ise yıllık ısıtma doğal gaz ihtiyacının 7.071,91 kWh'e düştüğü görülmüştür. Bu sonuçlara istinaden yapılan ısı yalıtım müdahaleleriyle yapının son durumunda özgün ilk durumuna göre yıllık doğal gaz tüketiminde yaklaşık %20 oranında iyileştirme elde edilmiştir.



Grafik 1. Yapının Özgün ve Rekonstrüksiyon Halinin Aylara Göre ısıtma doğal gaz İhtiyacı

Yapılan iyileştirmelerin ne kadar etki ettiğini görmek üzere programda ayrı ayrı modelleme yapılarak iyileştirmeler tek tek ele alınmıştır. Sonuç olarak; camların ısı yalıtımlı çift cam (3mm+6hb+3mm) yapılmasının yıllık 598,79 kWh, zeminin toprak yerine beton temel olmasının yıllık 68,12 kWh, çatı arasında (8 cm 150 kg/m³) ve dış bağdadi duvar arasında (8 cm kg/m³) taş yünü kullanımının ise yıllık 1.143,38 kWh tasarruf sağladığı tespit edilmiştir.

Yapı Bölümü	Verimlilik değeri	Verimlilik Oranı
Temel yenileme	68,12 kWh	% 0,8
Çift Cam (3+6 h.b.+3)	598,79 kWh	% 6,8
Duvar ve Çatı arasına Taşyünü (8 cm)	1.143,38 kWh	% 13
Toplam	1.810,29 kWh	% 20,6

Çizelge 5. Yapının Malzemelere göre Doğalgaz Isıtma Tasarruf Oranları

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Son olarak, simülasyon programından elde edilen bulgular “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardına” göre ele alınmıştır. Öncelikle çalışma yapılan yapının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, sınır değeri hesaplanmıştır. Kocaeli ilinde yer alan yapı 2. iklim bölgesinde yer almaktadır. Ts 825 Ek-A çizelgelere göre Atop /Vbrüt hesaplandığında;

Atop: Binanın ısı kaybeden yüzeylerinin toplam alanı (m²),

Vbrüt: Binanın brüt hacmi (ısıtılmış yapı hacmi m³)

Atop /Vbrüt

354,32/388,094 =0,913 bulunmaktadır.

TS 825 Ek-A 1.2. çizelgeye göre 2. İklim bölgesinde yer alan yapı kat yükseklikleri 2,60’tan fazla olduğu için aşağıdaki formül kullanılmaktadır. Vbrüt ile ilişkili Q₁ 2.DG = 22,4 x A/V + 7,8 [kWh/ m³,yıl] formüle göre yapının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değeri; (Q’) 28,2512 kWh/ m³ hesaplanmaktadır.

Simülasyon programından elde edilen yapıdaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ise;

$$Q = Q_{yıl} / V_{brüt}$$

Q = 30,057 kWh/ m³ hesaplanmıştır.

Yapı için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değer in üstünde olduğu görülmektedir (Q > Q’). O halde yapının bu durumu, TS 825 standardına uygun değildir.

Araştırma konusu yapı örneğinde, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını sınır değer in altına düşürebilmek adına; zeminden ısı yalıtımı yapılması, çatı arasındaki yalıtım katmanının kalınlığının artırılması, cephede kullanılan taşıyıcı malzemenin 8 cm yerine 10 cm ve ya daha düşük ısı iletim katsayısı olan bir malzeme seçilmesi, camlarda kalınlığı değiştirmeden low-e gibi yalıtım katmanları eklenmesi önerilebilir.

Ancak, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını düşürebilmek için yapılabilecekler buna benzer tescilli olan ve tarihi değer inin ve özgünlüğünün korunmasının gerekli olduğu yapılarda sınırlıdır. Örneğin, cam kalınlığının artırılması giyotin pencerelerin doğrama ve çita kalınlıklarını arttırdığından özgün giyotin pencerelerden farklılaşmasına sebep olacaktır. Veya cephedeki karkas kalınlığının özgün ölçülerden gelmiş olası sebebiyle ısı yalıtım malzemesinin kalınlığı da karkas kalınlığını geçemez. Kaplaması olmayan sıva, taş veya tuğla cepheli yapılarda dış cepheye müdahale edilemediği için içten uygulama alternatifleri denemek gereklidir.

Bunlar dışında bu tip tarihi değeri olan yapılar için zeminden yalıtım çözümleri üretilmesi, ısı yalıtımlı boyaları, arojel gibi inovatif malzemeler, mineral yalıtımlı sıvalar (sıvaterm), yalıtım keçeleri gibi yapı ile uyum sağlayabilen farklı güncel malzemelerin denenmesi araştırılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gebze Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 2023-A-101-05 no'lu "Tarihi yapılarda Enerji Verimliliğinin Araştırılması" başlıklı projenin bir bölümüdür

KAYNAKÇA

1. 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, Chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/UlusalEnerjiVerimlili%C4%9FiEylemPlan%C4%B1/Belgeler/2UlusalEnerjiVerimlili%C4%9FiEylemPlan%C4%B1.pdf (Erişim tarihi: 18.12.2024)
2. Şahin, C. D., Arsan, Z. D., Tuncoku, S. S., Broström, T., & Akkurt, G. G., A transdisciplinary approach on the energy efficient retrofitting of a historic building in the Aegean Region of Turkey, *Energy and Buildings*, March, 96, 128-139, 2015.
3. De Berardini P. Rotilio M. Marchionni C. Friedman A., Improving the energy-efficiency of historic masonry buildings. A case study: A minor centre in the Abruzzo region Italy , *Energy and Buildings*, June, 80, 415-423, 2014.
4. <https://www.eehb2024.org/> (Erişim tarihi: 30.12.2024)
5. Kocaeli İli, Dilovası İlçesi, Tavşancıl Mahallesi, 1/1.000 Ölçekli Doğal ve Kentsel Sit Alanları Koruma Amaçlı Uygulama İmar Planı Hükümlerine Plan Notu İlavesi <https://webdosya.csb.gov.tr/db/kocaeli> (Erişim tarihi: 29.12.2024)
6. Şahin C. D., Energy Efficient Retrofitting of Historical Buildings: a Case Study on The Building of Basmane Semt Merkezi – İzmir, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2013

KÜLTÜREL MİRAS VE TURİZM: YERALTI ŞEHİRLERİNE ZİYARETÇİ PROFİLLERİ VE YILLARA GÖRE PUANLAMA DEĞİŞİMİ

Öğr. Gör. İlksen ALVEROĞLU

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi/Avanos Güzel Sanatlar Meslek Yüksekokulu,
ilksenalveroglu@nevsehir.edu.tr - 0000-0002-3835-4176

Prof.Dr. Hicran Hanım HALAÇ

Eskişehir Teknik Üniversitesi/Mimarlık ve Tasarım Fakültesi,
hhhalac@eskisehir.edu.tr - 0000-0001-8046-9914

ÖZET

Yeraltı şehirleri, tarihî ve kültürel mirasın benzersiz bir parçası olarak dünya genelinde önemli turistik çekim merkezleri arasında yer almaktadır. Bu çalışma, yurtdışında yer alan sekiz farklı yeraltı şehrinin ziyaretçi dinamiklerini ve ziyaretçilerin deneyimlerini incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma, ziyaretçilerin aile, arkadaş, yalnız veya iş amaçlı seyahat nedenlerine göre yeraltı şehirlerine yaklaşımını analiz etmekte ve bu dinamiklerin zaman içerisindeki değişimini ortaya koymaktadır. Ayrıca, yıllar boyunca ziyaretçi yorumlarında gözlenen değişimlerin nedenleri araştırılarak, bu yapıların turistik çekiciliği ve sürdürülebilirliği üzerindeki etkiler tartışılmaktadır. Çalışmada, seçilen on yeraltı şehri incelenmiş, bu yapıların ziyaretçi profillerine ilişkin veriler analiz edilmiştir. Aile, arkadaş grubu, yalnız seyahat veya iş amaçlı ziyaretler gibi farklı motivasyonlar değerlendirilmiş, ayrıca ziyaretçi yorumlarındaki değişimler yıllık bazda incelenmiştir. Yıllara göre analiz edilen veriler, ziyaretçi profillerinde ve yorum içeriklerinde gözlenen değişimlerin nedenlerini anlamak için değerlendirilmiştir.

Araştırma, yeraltı şehirlerinin ziyaretçi profillerinin yıllar içinde nasıl değiştiğine dair önemli bulgular sunmaktadır. Çalışmanın sonuçları ziyaretçi yorumlarının ve ziyaretçi profilinin nasıl değiştiğini göstermektedir. Çalışma, tarihî ve kültürel mirasın turizm sektörüyle uyumlu bir şekilde nasıl sürdürülebilir kılınabileceğine dair öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Yeraltı Şehirleri, Korku, Paranormal Turizm.

CULTURAL HERITAGE AND TOURISM: VISITOR PROFILES TO UNDERGROUND CITIES AND CHANGES IN SCORING ACCORDING TO THE YEARS

Lecturer İlksen ALVEROĞLU

Nevşehir Hacı Bektaş Veli University/Avanos Vocational School of Fine Arts,
ilksenalveroglu@nevsehir.edu.tr - 0000-0002-3835-4176

Prof.Dr. Hicran Hanım HALAÇ

Eskişehir Technical University / Faculty of Architecture and Design,
hhhalac@eskisehir.edu.tr - 0000-0001-8046-9914

ABSTRACT

Underground cities, as unique components of historical and cultural heritage, hold a significant place among the world's major tourist attractions. This study aims to examine the visitor dynamics and experiences related to eight underground cities located abroad. The research analyzes visitors' perspectives on underground cities based on their travel motives, such as family trips, traveling with friends, solo trips, or business purposes, and highlights the changes in these dynamics over time. Furthermore, the reasons behind changes observed in visitor reviews over the years are explored, and their effects on the tourist appeal and sustainability of these structures are discussed.

The study examines ten selected underground cities, analyzing data on visitor profiles. Various motivations such as family trips, group travels with friends, solo visits, and business trips are evaluated, and annual trends in visitor reviews are investigated. The data, analyzed on a yearly basis, is assessed to understand the reasons behind the observed changes in visitor profiles and review content.

The research provides significant findings regarding how the visitor profiles of underground cities have changed over the years. The results reveal how visitor reviews and profiles have evolved over time. Additionally, the study offers recommendations on how historical and cultural heritage can be aligned with the tourism industry to ensure sustainable use.

Keywords: Underground Cities, Fear, Paranormal Tourism.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde geçmişten günümüze birçok arkeolojik yeraltı yerleşmesi, sahip olduğu kültürel ve tarihsel özelliklerle öne çıkmaktadır. Özellikle keşfedilen yeraltı şehirleri, tarihî, kültürel ve mimari değerleriyle buldukları toplumların belleğinde önemli bir yere sahiptir. Bu yerler, yalnızca kültürel mirasın korunması açısından değil, aynı zamanda turizm sektörüne sağladığı ekonomik katkılar nedeniyle de önemlidir. Son yıllarda teknolojinin gelişmesi ve internet kullanıcılarının artışı, ziyaretçilerin bilgiye erişim yöntemlerini ve turizm alanlarındaki tercihlerini doğrudan etkilemiştir. Çevrimiçi platformlar üzerinden sunulan bilgiler ve kullanıcı yorumları, turistlerin destinasyon tercihlerini yaparken önemli bir rehberlik sunmaktadır. Özellikle TripAdvisor, Booking.com ve Trivago gibi platformlar, hem tüketiciler hem de hizmet sağlayıcıları için zengin bir içerik havuzu sağlamaktadır (Cheng, Fu, Sun, Bilgihan ve Okumus, 2019). Turistlerin ziyaret ettikleri tarihi mekanlar hakkındaki değerlendirmelerini çevrimiçi yorumlar aracılığıyla paylaşmaları, destinasyonlarla ilgili algının şekillenmesine katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda, yorumlar ziyaretçilerin memnuniyet düzeyini ortaya koymakta ve bu memnuniyetin tekrar ziyaret niyeti ile başkalarına tavsiye etme eğilimi üzerinde doğrudan etkili olduğu belirtilmektedir (Cohen, Prayag ve Moital, 2014). Bu durum, özellikle turistik akışın sürekliliğini sağlamada kritik bir role sahiptir (Aylan, 2019). Özellikle yeraltı yerleşmeleri gibi ilgi çekici tarihi yapılar, geçmişten günümüze taşıdığı izlerle kültürel bir köprü vazifesi görürken, çevrimiçi platformlarda ziyaretçi yorumlarıyla yeni bir iletişim ve tanıtım sürecine dahil olmaktadır. Bu yorumlar; mekanların tarihî ve kültürel değerlerine dair farkındalığı artırırken, aynı zamanda mekanların pazarlanması, markalaşması ve kurumsal itibarlarının güçlendirilmesi gibi fırsatlar yaratmaktadır (Yılmaz, 2020). Ayrıca, ziyaretçilerin mekanlara dair görüşleri, olası iyileştirme çalışmaları için değerli geri bildirimler sunmaktadır.

2. YÖNTEM

Bu araştırmanın temel amacı, TripAdvisor platformunda yer alan yorumlar aracılığıyla Dünya genelindeki yeraltı şehirlerini ziyaret eden turist profillerini incelemek ve yorumların yıllara göre nasıl değişiklik gösterdiğini analiz etmektir. Araştırma sürecinde yeraltı şehirlerinin belirlenmesi, literatür taraması ve haber kaynaklarının analizi yoluyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan yeraltı şehirleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Doğal ve Yapay Oluşumlu Yeraltı Şehirleri

Doğal Oluşumlu Yeraltı Şehirleri	Yapay Oluşumlu Yeraltı Şehirleri
Kish Yeraltı Şehri	Frankfurt Metro İstasyonu
Les Boves d'Arras	Helsinki Tren İstasyonu
Naourus Yeraltı Şehirleri	Pekin Yeraltı Şehri
Paris Yeraltı Mezarları	Town Hall Tren İstasyonu
Pilsen Tarihi Yeraltı Şehri	Buenos Aires Yeraltı
Petra Yeraltı Şehri	Path Yeraltı
Kudüs Yeraltı Şehri (Zedekiah Mağaraları, Batı Tünelleri)	Reso

Subtropolis	Dover Yeraltı
Cooper Pedy	Umeda District
Wieliczka Tuz Madeni	Okhotny Ryad
City of Caves	Vincom Mega Mall
Orvieto	
Dixia Cheng	
Edinburgh Yeraltı Mahzenleri	
Shanghai Tünelleri	

Çalışma, yalnızca doğal oluşumlu yeraltı şehirlerine odaklanmıştır. Bu tercihin temel nedeni, yapay yeraltı yapıların daha çok teknolojik ve mühendislik ağırlıklı bir yapıya sahip olması ve araştırmanın bağlamını tam anlamıyla karşılamamasıdır. Bunun yanı sıra, **Petra Yeraltı Şehri**, bir antik kent olarak değerlendirildiği için genel yorumların yeraltı şehrine özel olmadığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, **Subtropolis**, **Dixia Cheng** ve **Cooper Pedy** gibi yapılar, TripAdvisor üzerinde yeraltı şehri bağlamında yeterli yorum bulundurmamaları için kapsam dışı bırakılmıştır. Ayrıca, **Edinburgh** ve **Shanghai Tünelleri**, ağırlıklı olarak paranormal turizm faaliyetleriyle ilişkilendirilen yapılar olduğu için bu türlere özel yorumlar barındırmaktadır. Bu nedenle, analiz kapsamına alınmamıştır. **Kudüs Yeraltı Şehri**, TripAdvisor üzerinde genel bir başlık altında yorumlanmamakta; yalnızca **Batı Tünelleri** ve **Zedekiah Mağaraları** olarak iki ayrı başlıkta yorumlandığı için, bu yapı iki ayrı kategori altında değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında, belirlenen toplam dokuz doğal yeraltı şehrine ait TripAdvisor yorumları sistematik olarak indirilmiş ve analiz edilmiştir. Yorumlar, yıllara göre sınıflandırılmış yıllara göre yorum dağılımları ve 5 Puan harika, 4 çok güzel, 3 ortalama, 2 zayıf, 1 berbat olmak üzere puan dağılımları oluşturulmuştur. en çok kullanılan dil analiz edilmiş ve ilk yorumdan çalışma tarihi olan 17.12.2024 itibari ile ziyaretçi profilleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, turizm ve kültürel miras yönetimine yönelik öneriler sunmayı hedeflemektedir. Özellikle yeraltı şehirlerini ziyaret eden turist profillerinin belirlenmesiyle, bu mekanlara yönelik daha etkili ve hedef odaklı planlama stratejilerinin geliştirilebileceği öngörülmektedir

3. BULGULAR

3.1.Kish Yeraltı Şehri

Bu yeraltı şehri için 124 yorum bulunmaktadır. Çizelge 2’de yıllara göre yorum ve puan farkı görülmektedir.

-Puan-Yorum Dağılımı

Çizelge 2. Puan ve yorum tablosu.

Puan	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Top.
1				2				2		1		5
2					2		1		1			4
3	1				1	3	2	1				8
4	2	3	2	10	13	7	6	3	1		3	50
5	3	2	3	11	10	10	9	5	4			57
Genel Top.	6	5	5	23	26	20	18	11	6	1	3	124

2012-2014 yılları arasında sınırlı sayıda yorum bulunurken, 2015 ve 2016 yıllarında yorum sayılarında belirgin bir artış gözlemlenmiştir; bu durum, yeraltı şehirlerine yönelik turistik ilginin artması ya da TripAdvisor kullanımının yaygınlaşması ile açıklanabilir. 2017-2019 yılları arasında yorum sayıları nispeten azalsa da yıllık ortalamalar istikrarlı bir ilgi düzeyini işaret etmektedir. Ancak, COVID-19 pandemisi nedeniyle 2020 ve 2021 yıllarında yorumlarda ciddi bir düşüş yaşanmış, 2022 ve 2023 yıllarında kısmi bir toparlanma görülmesine karşın pandemi öncesi seviyelere ulaşılamamıştır. Ziyaretçilerin değerlendirme puanlarına bakıldığında, yorumların büyük çoğunluğunun (%46) en yüksek değerlendirme olan 5 puan üzerinde yoğunlaştığı ve bunu 4 puanın takip ettiği görülmektedir. Buna karşın, düşük puanlar (1 ve 2) sınırlı sayıda olup, genel olarak ziyaretçilerin memnuniyet düzeyinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

-Ziyaretçi profili

Çizelge 3. Ziyaretçi Profili.

Ziyaretçi Durumu	2012-2022
Aile olarak ziyaret edenler	38
Arkadaşları ile ziyaret edenler	21
İş için ziyaret edenler	6
Yalnız ziyaret edenler	9
Çift olarak ziyaret edenler	31

Yeraltı şehirlerine yönelik 2012-2024 döneminde yapılan TripAdvisor yorumlarına dayalı ziyaretçi profilleri incelendiğinde, en yüksek ziyaretçi grubunu aile olarak ziyaret edenlerin oluşturduğu (%38) görülmektedir. Bunu, çift olarak ziyaret edenler (%31) ve arkadaş gruplarıyla ziyaret edenler (%21) takip etmektedir. Yalnız başına (%9) ve iş amacıyla (%6) gerçekleştirilen ziyaretlerin ise nispeten daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu dağılım, yeraltı şehirlerinin genellikle sosyal ve kültürel bir deneyim arayışı içinde olan aileler ve çiftler tarafından tercih edilen bir turistik destinasyon olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, iş seyahatleri ve yalnız seyahat edenlerin oranının düşük olması, bu mekanların turistik bağlamda grup veya çift temelli deneyimlere daha uygun olduğunu ortaya koymaktadır. (Çizelge 3)

-Dil Durumu

2012-2024 dönemine ait toplam 124 TripAdvisor yorumu incelendiğinde, yorumların büyük çoğunluğunun (%88,7) İngilizce olarak yapıldığı tespit edilmiştir. Diğer dillerde yazılan yorumların sayısı ise hiçbir dilde 4'ü aşmamaktadır. Bu durum, yeraltı şehirlerinin ağırlıklı olarak İngilizce

konuşan turistler tarafından ziyaret edildiğini ya da yorumların bu dilde yapıldığını göstermektedir. İngilizce dışındaki yorumların sınırlı sayıda olması, bu destinasyonların farklı dil gruplarındaki turistlere ulaşılabilirliğinin artırılması gerektiğine işaret edebilir.

3.2. Kûdus Batı Tûnelleri

-Puan-Yorum Dağılımı

3533 yorum bulunmaktadır. Yıllara göre puan dağılımına ilişkin veriler Çizelge 4’de yer almaktadır.

Çizelge 4. Puan ve yorum tablosu.

Puan	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Top.
1		1	1	4	2	1	6	1	1	1		1		19
2		3	4	4	1	2	6	4	1		1			26
3		15	13	28	18	26	21	15	5					141
4		50	78	114	114	85	64	50	13		5	6		579
5	7	290	404	531	490	423	313	212	50	6	21	19	2	2768

Genel
Top. 7 359 500 681 625 537 410 282 70 7 27 26 2 3533
Yıllar boyunca en yüksek puan olan 5 yıldız, toplamda 2.768 kez verilmiş ve bu, tüm puanlamaların %78,3’ünü oluşturarak ziyaretçilerin genel olarak oldukça yüksek bir memnuniyet düzeyine sahip olduğunu göstermiştir. 4 yıldız değerlendirmesi, toplamda 579 kez verilmiş olup, bu puanların %16,4’ünü oluşturarak yeraltı şehirlerinin olumlu ancak eksik yönleriyle de dikkat çektiği bir ziyaretçi kitlesi tarafından değerlendirildiğini ortaya koymaktadır.

Daha düşük puanlara (1, 2 ve 3 yıldız) bakıldığında, toplam 186 puanlama ile bu tür yorumların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir (%5,3). Özellikle 1 yıldız ve 2 yıldız değerlendirmeleri (sırasıyla 19 ve 26 puanlama), ziyaretçilerin memnuniyetsizlik oranının düşük olduğunu ortaya koymaktadır. 3 yıldız değerlendirmesi ise 141 kez verilmiş olup, ziyaretçilerin bir kısmının deneyimlerini "orta" düzeyde değerlendirdiğini göstermektedir.

Yıllara göre genel puanlama dağılımı incelendiğinde, 2015-2018 yılları arasında puanlama sayılarında belirgin bir artış yaşanmış ve 2015 yılında zirveye ulaşılmıştır (681 puanlama). Bu dönemin ardından 2019 yılından itibaren puanlama sayılarında kademeli bir düşüş gözlenmiştir. COVID-19 pandemisinin etkisiyle 2020 ve 2021 yıllarında puanlamalar dramatik bir şekilde azalmış (sırasıyla 70 ve 7 puanlama), ancak 2022 ve 2023 yıllarında kısmi bir toparlanma gerçekleşmiştir.

-Ziyaretçi profili

2012-2024 yılları arasındaki ziyaretçi durumu Çizelge 5’de yer almaktadır.

Çizelge 5. Ziyaretçi Profili.

Ziyaretçi Durumu	2012-2024
Aile olarak ziyaret edenler	915
Arkadaşları ile ziyaret edenler	860
İş için ziyaret edenler	117
Yalnız ziyaret edenler	278

Çift olarak ziyaret edenler 975
2012-2024 döneminde yeraltı şehirlerine yapılan ziyaretlerin ziyaretçi profilleri incelendiğinde, en yüksek oranı çift olarak ziyaret edenlerin oluşturduğu (%27,6, toplam 975 ziyaret) görülmektedir. Bunu, aile olarak ziyaret edenler (%25,9, toplam 915 ziyaret) ve arkadaş gruplarıyla ziyaret edenler (%25,1, toplam 860 ziyaret) takip etmektedir. Daha düşük oranlarda ise yalnız ziyaret edenler (%7,9, toplam 278 ziyaret) ve iş amacıyla ziyaret edenler (%3,3, toplam 117 ziyaret) yer almaktadır.

-Dil durumu

İncelenen toplam 3.533 TripAdvisor yorumunun dillerine göre dağılımı analiz edildiğinde, yorumların büyük bir kısmının İngilizce (%78,6, toplam 2.777 yorum) olduğu tespit edilmiştir. İngilizceyi, %5 oranıyla İspanyolca (176 yorum), %2,7 oranıyla Rusça (95 yorum), %2,6 oranıyla Portekizce (92 yorum) ve %2,5 oranıyla İbranice (87 yorum) takip etmektedir. Diğer dillerin oranları ise oldukça sınırlı düzeyde kalmıştır.

3.3. Les Boves d'Arras

- Puan-Yorum Dağılımı

2012-2024 yılları arasında toplam 245 TripAdvisor puanlamasının dağılımı incelendiğinde, en yüksek oranı 5 yıldız değerlendirmelerinin oluşturduğu görülmektedir (88 puan, %35,9). 4 yıldız değerlendirmeleri 104 puan (%42,4) ile ikinci sırada yer almakta olup, bu iki kategori toplam puanlamaların %78,3'ünü oluşturarak ziyaretçilerin büyük bir kısmının memnuniyet düzeyinin yüksek olduğunu göstermektedir. Orta düzey puanlama olan 3 yıldız ise 35 puan (%14,3) ile nispeten sınırlı bir orana sahiptir. Daha düşük puanlar olan 2 yıldız (13 puan, %5,3) ve 1 yıldız (5 puan, %2) ise oldukça düşük seviyelerde kalmıştır, bu da memnuniyetsizliğin genel olarak nadir olduğunu ortaya koymaktadır.(Çizelge 6)

Yıllara göre genel dağılıma bakıldığında, 2014 yılında toplam 53 puanlama ile en yoğun değerlendirme döneminin yaşandığı tespit edilmiştir. 2015-2017 döneminde puanlama sayılarında dalgalanmalar olmakla birlikte belirgin bir düşüş görülmemiştir. Ancak, 2020 yılında COVID-19 pandemisinin etkisiyle puanlama sayısı önemli ölçüde azalmış (3 puan), 2022 ve 2023 yıllarında kısmi bir toparlanma gerçekleşmiştir.

Çizelge 6. Puan ve yorum tablosu.

Puan	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Top.
1			4							1				5
2		1	7	1	2			1				1		13
3	1	2	6	3	6	2	5	4		3	1	1	1	35
4	3	10	21	21	9	11	8	11	2	3	3		2	104
5		9	15	12	8	20	11	7	1		5			88
Genel Top.	4	22	53	37	25	33	24	23	3	7	9	2	3	245

-Ziyaretçi profili

Çizelge 7. Puan ve yorum tablosu.

Ziyaretçi Durumu	2012-2024
Aile olarak ziyaret edenler	51
Arkadaşları ile ziyaret edenler	43
İş için ziyaret edenler	1
Yalnız ziyaret edenler	12
Çift olarak ziyaret edenler	105

2012-2024 döneminde yapılan ziyaretlerin ziyaretçi profilleri incelendiğinde, en büyük grubu çift olarak ziyaret edenlerin oluşturduğu görülmektedir (105 ziyaret, %47,5). Bunu, aile olarak ziyaret edenler (51 ziyaret, %23,3) ve arkadaş gruplarıyla ziyaret edenler (43 ziyaret, %19,2) takip etmektedir. Yalnız ziyaret edenler (12 ziyaret, %5,4) ve iş amacıyla ziyaret edenler (1 ziyaret, %0,4) ise oldukça düşük oranlarda temsil edilmektedir. (Çizelge 7)

-Dil durumu

İncelenen toplam 245 TripAdvisor yorumunda, en sık kullanılan dilin Fransızca olduğu görülmektedir. Fransızca, 157 yorum (%64,1) ile en yüksek orana sahipken, ikinci sırada İngilizce yer almakta ve 73 yorum (%29,8) ile izlenmektedir. Diğer dillerin (İspanyolca, Almanca, İtalyanca vb.) yorum sayılarının ise 2 ile 10 arasında olduğu tespit edilmiştir.

3.4. Naorus

-Puan-Yorum Dağılımı

2010-2024 yılları arasında Wieliczka Tuz Madenleri için toplam 397 TripAdvisor yorumunun dağılımı incelendiğinde, puanlamalar arasında en yüksek yoğunluk 4 yıldız (%43,6, toplam 173 yorum) ile gözlemlenmiştir. Bunu, 5 yıldız (%35,6, toplam 141 yorum) ve 3 yıldız (%13,1, toplam 52 yorum) takip etmektedir. Daha düşük puanlar ise daha az sıklıkta görülmektedir. (Çizelge 8)

Çizelge 8. Puan ve yorum tablosu.

Puan	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Top.
1			1	1	2	1	3	1		1	2		1	1		14
2	1	1	4	1		4	1	2	1	1					1	17
3		1	2	2	5	9	6	7	3	4	6	3			4	52
4	1	1	3	10	11	27	27	26	23	17	8	6	6	5	2	173
5			6	5	9	13	11	20	18	17	12	4	12	9	5	141

Genel	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Top.
Top.	2	3	16	19	27	54	48	56	45	40	28	13	19	15	12	397

-Ziyaretçi Profili

Ziyaretçi profiline bakıldığında, bu yapının büyük oranda çiftler (%27,4, toplam 109 ziyaret) ve aileler (%36,8, toplam 146 ziyaret) tarafından ziyaret edildiği görülmektedir. Bunun yanı sıra, yalnız (%1,8) ve iş için (%1,0) yapılan ziyaretler daha sınırlı seviyededir. Bu, bölgenin sosyal ziyaretler için uygun bir destinasyon olduğunu ve bireysel ziyaretlerin nispeten daha az olduğunu göstermektedir.(Çizelge 9)

Çizelge 9. Ziyaretçi Profili.

Ziyaretçi Durumu	2010-2024
Aile olarak ziyaret edenler	146
Arkadaşları ile ziyaret edenler	45
İş için ziyaret edenler	4
Yalnız ziyaret edenler	7
Çift olarak ziyaret edenler	109

-Dil durumu

2010-2024 yılları arasında toplam 397 TripAdvisor yorumunun dağılımı incelendiğinde, en çok yorumun Fransızca dilinde (%75,1, toplam 298 yorum) olduğu görülmektedir. İkinci dil olarak İngilizce (%19,4, toplam 77 yorum) belirgin bir yer tutarken, diğer dillerin (İspanyolca, Almanca, İtalyanca) oranları oldukça düşük seviyededir.

3.5. Paris Yeraltı Mezarları

-Puan/Yorum Dağılımı

Toplam 8716 puan değerlendirmesi incelendiğinde, en yüksek puan dağılımının %45,5 ile 5. puan kategorisinde (toplam 3961 yorum) olduğu görülmektedir. Bu, ziyaretçilerin büyük çoğunluğunun bölgede olumlu deneyimler yaşadığını ve genel olarak yüksek puanlarla değerlendirdiğini göstermektedir. Ardından, %33,5 ile 4. puan kategorisi (toplam 2913 yorum) ikinci sırada yer alırken, diğer puan kategorileri daha düşük oranlarla dağılmaktadır. Bu puan dağılımları sırasıyla %12,3 ile 3. puan kategorisi (toplam 1071 yorum), %3,7 ile 2. puan kategorisi (toplam 324 yorum) ve %4,8 ile 1. puan kategorisi (toplam 447 yorum) olarak şekillenmektedir.(Çizelge 10)

Çizelge 10. Puan ve yorum tablosu.

Puan	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Top.
1	1	2	22	12	18	32	19	62	132	70	13	10	13	21	15	447
2		9	10	28	34	42	32	53	59	28	8	4	7	6	4	324
3	4	25	45	61	103	165	201	154	123	96	26	16	17	23	4	1071
4	11	44	151	201	309	542	489	437	313	218	47	30	39	49	20	2913
5	6	69	161	248	344	568	637	651	491	488	69	17	48	63	73	3961
Genel																
Top.	22	149	389	550	808	1349	1378	1357	1118	900	163	77	124	162	116	8716

-Ziyaretçi Profili

Çizelge 11. Ziyaretçi Profili.

Ziyaretçi Durumu	2010-2024
Aile olarak ziyaret edenler	1824
Arkadaşları ile ziyaret edenler	1436
İş için ziyaret edenler	54
Yalnız ziyaret edenler	661
Çift olarak ziyaret edenler	3016

6791 ziyaretçi profili incelendiğinde, en büyük paya sahip olan ziyaretçi grubu çiftler (%44,4, toplam 3016 ziyaret) olarak tespit edilmiştir. Bunu takiben, aileler (%26,9, toplam 1824 ziyaret) ve arkadaş grupları (%21,1, toplam 1436 ziyaret) gelmektedir. Ayrıca, bireysel ziyaretçiler (%9,7, toplam 661 ziyaret) ve iş amacıyla gelenler (%0,8, toplam 54 ziyaret) daha sınırlı bir paya sahiptir.(Çizelge 11)

-Dil durumu

2010-2024 yılları arasında Wieliczka Tuz Madenleri'ne ait toplam 8716 yorumun dil dağılımı incelendiğinde, İngilizce (%68,5, toplam 5962 yorum) yorumların büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. İngilizce dilinden sonra en yüksek oran Fransızca (%13,9, toplam 1209 yorum) olup, bunu Portekizce (%4,2, toplam 368 yorum) ve İspanyolca (%4,4, toplam 383 yorum) takip etmektedir.

3.6. Pilsen Yeraltı Şehri

Pilsen tarihi yeraltı şehri üzerine yapılan puan değerlendirmeleri incelendiğinde, 363 yorumdan oluşan toplam değerlendirmelerde en yüksek puan kategorisinin %45,8 ile 5. puan kategorisinde (toplam 166 yorum) olduğu görülmektedir. Bu, ziyaretçilerin büyük bir kısmının Pilsen yeraltı şehrini olumlu bulduğunu ve genellikle yüksek puanlarla değerlendirdiğini göstermektedir. İkinci sırada ise %35,5 ile 4. puan kategorisi (toplam 129 yorum) yer almaktadır. Daha düşük sıralamalarda ise 3. puan kategorisi (%11,6, toplam 42 yorum) ve 2. puan kategorisi (%4,7, toplam 17 yorum) bulunurken, 1. puan kategorisi (%2,5, toplam 9 yorum) en az tercih edilen kategori olarak karşımıza çıkmaktadır. (Çizelge 12)

Çizelge 12. Puan ve yorum tablosu.

Puan		2009	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Top.
1					1		3	2			2					1	9
2						1	4	4	2	1	2						17
3			2	3	4	5	11	4	6	1	4	1					42
4	1	1	3	6	6	20	21	32	19	10	3	1	3	1	2		129
5			2	8	10	22	31	28	27	21	6	3	2	6			166
Genel																	
Top.	1	3	8	19	22	60	62	68	48	39	10	4	5	7	7		363

-Ziyaretçi Profili

Ziyaretçi profiline bakıldığında, 2012-2024 yılları arasında yapılan toplam 363 yorumun dağılımı incelendiğinde, en fazla ziyaretçi profilinin "çift olarak" ziyaret edenler olduğu görülmektedir. Toplam 3016 yorum bu kategoriye aittir. Bunu, "aile olarak" (1824) ve "arkadaşlarıyla" (1436) ziyaret edenler takip etmektedir. "Yalnız" (661) ve "iş için" (54) gelen ziyaretçiler ise daha düşük bir orana sahiptir. Bu veriler, Pilsen yeraltı şehrinin özellikle çiftler ve aileler tarafından daha çok tercih edildiğini göstermektedir. (Çizelge 13)

Çizelge 13. Ziyaretçi Profili.

Ziyaretçi Durumu	2009-2024
Aile olarak ziyaret edenler	1824
Arkadaşları ile ziyaret edenler	1436
İş için ziyaret edenler	54
Yalnız ziyaret edenler	661
Çift olarak ziyaret edenler	3016

-Dil durumu

Dil durumu açısından ise, toplam 363 yorum arasında en çok tercih edilen dil İngilizce'dir. 136 yorum ile en büyük dil grubunu oluştururken, Almanca 71 yorumla ikinci sırada yer almaktadır. Çekçe ise 43 yorumla üçüncü sıradadır.

3.7. City Of Caves

-Puan-Yorum Dağılımı

City of Caves, 2006 yılında ilk yorumların yapıldığı ve bu tarihe kadar yorumların oldukça sınırlı seviyede olduğu gözlemlenmiştir. 2006'da yalnızca 2, 2007'de 3, 2008'de ise 1 yorum yer almaktadır. 2010 yılından sonra ise yorum sayısı önemli ölçüde artış göstermiştir. Bu dönemde yorumlar daha düzenli bir şekilde tabloya yansımaktadır. 2010'dan itibaren özellikle puan dağılımlarına baktığımızda, 4 ve 5 numaralı puan kategorilerinin daha sık tercih edildiği görülmektedir. 2013 yılına kadar bu kategoriler yüksek puanlarla oldukça belirgin bir şekilde öne çıkarken, 2014'ten itibaren daha geniş bir dağılım göstererek tüm puan kategorilerinin katkısı artmıştır.(Çizelge 14)

Çizelge 14. Puan ve yorum tablosu.

Puan	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Top.
1	1		3		2	4	5	2	5	2	1	3	7	2	5	43
2	1		4	5	7	6	10	8	2	6	1	2	2	1	2	58
3			11	16	16	28	39	21	22	10	1	4	8	6	3	185
4	2	1	29	37	41	68	95	86	62	59	19	13	15	22	11	562
5		1	12	30	26	73	94	76	62	111	38	15	45	125	50	760
Genel Top.	4	2	59	88	92	179	243	193	153	188	60	37	77	156	71	1608

-Ziyaretçi Profili

2012-2024 yılları arasında yapılan 1608 yorumun analizinde, ziyaretçi profiline bakıldığında "çift olarak" ziyaret edenlerin sayısının en yüksek olduğunu göstermektedir. 561 yorum ile bu kategori öne çıkarken, "aile olarak" (%417) ve "arkadaşlarıyla" (%257) ziyaret edenler de önemli bir paya sahiptir. "Yalnız" (%103) ve "iş için" (%15) ziyaret edenler ise daha düşük bir oranla gözlemlenmiştir. (Çizelge 15)

Çizelge 15. Ziyaretçi Profili

Ziyaretçi Durumu	2010-2024
Aile olarak ziyaret edenler	417
Arkadaşları ile ziyaret edenler	257
İş için ziyaret edenler	15
Yalnız ziyaret edenler	103
Çift olarak ziyaret edenler	561

-Dil durumu

Dil dağılımına baktığımızda, 1608 yorumun 1534'ünün İngilizce dilinde olduğu belirlenmiştir. İngiltere'de bulunması ve bölgeye yönelik yabancı turist sayısının yüksek olması nedeniyle, İngilizce dilinin yoğunluğu beklenebilir bir sonuç olarak ortaya çıkmaktadır.

3.8. Orvieto Yeraltı Şehri

-Puan-Yorum Dağılımı

Orvieto hakkında yapılan değerlendirmeler, ziyaretçi profilinin ve dil dağılımının bölgenin turistik yapısıyla uyumlu olduğunu göstermektedir. Puan dağılımı incelendiğinde, 2012-2024 yılları arasında 2144 yorumun toplamda dağılımının nasıl gerçekleştiği açık bir şekilde görülmektedir. Puan 5, 4 ve 3 gibi yüksek puanlı kategoriler, ziyaretçilerin daha olumlu değerlendirmeler yaptığı bölümler olarak öne çıkmıştır.(Çizelge 16),

Çizelge 16. Puan ve yorum tablosu.

Puan																
	2009	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Top.
1				1	2	3		2	2	1	5	4	2	2		24
2			1	2	4		6		5	2	2			1	1	26
3		2	9	10	12	31	34	27	20	22	4	2	4	1	1	179
4	2	6	21	44	65	104	154	143	86	66	17	7	13	6	9	743
5	1	7	43	59	73	171	208	172	137	101	48	24	35	33	60	1172
Genel																
Top.	3	15	74	116	156	309	402	344	250	192	76	39	54	43	71	2144

-Ziyaretçi Profili

Ziyaretçi profiline bakıldığında, "çift olarak" (978) ve "aile olarak" (504) ziyaret edenlerin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, bölgeye daha çok çift ve ailelerin ilgisi olduğunu ve kalış sürelerinin daha uzun olabileceğini işaret etmektedir. "Arkadaşları ile ziyaret edenler" (296) ve "yalnız" (103) ziyaret edenlerin oranı ise daha düşük seviyededir. (Çizelge 17)

Çizelge 17. Ziyaretçi Profili.

Ziyaretçi Durumu	
	2009-2024
Aile olarak ziyaret edenler	504
Arkadaşları ile ziyaret edenler	296
İş için ziyaret edenler	9
Yalnız ziyaret edenler	103
Çift olarak ziyaret edenler	978

-Dil Durumu

Dil dağılımı açısından ise, 1182 yorum ile İtalyanca en yüksek dil olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum, bölgenin İtalya sınırları içerisinde bulunmasından kaynaklanmaktadır. İtalyanca'yı İngilizce (771) takip etmektedir. İngilizce, Orvieto'da bulunan yabancı turistlerin önemli bir kısmının dil tercihini yansıtmaktadır.

3.9. Wieliczka Tuz Madenleri

-Puan-Yorum Dağılımı

Wieliczka Tuz Madenleri üzerine yapılan analizde, toplam 14,616 TripAdvisor yorumundan 10,820 adedi incelenmiştir. Bu yorumların dağılımı, yıldan yıla puanlama yoğunluğuna göre farklılık göstermektedir. En fazla puanlama, 5 yıldız (6779 yorum, %62,7) ile en yüksek memnuniyeti yansıtan değerlendirmelere sahiptir. Bu, ziyaretçilerin genel olarak Wieliczka Tuz Madenleri'nden yüksek

düzye de memnuniyet duyduğunu göstermektedir. 4 yıldız puanlamaları da 2547 yorum (%23,5) ile ikinci en yüksek oranı oluştururken, 3 yıldız (895 yorum, %8,3) ve daha düşük puanlamalar ise daha sınırlı düzeyde kalmıştır. (Çizelge 18)

Çizelge 18. Puan ve yorum tablosu.

Puan	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Top.
1	10	48	32	45	53	6	7	17	12	22	252
2	17	64	76	74	54	12	7	8	17	18	347
3	58	241	162	179	135	25	7	25	30	33	895
4	187	632	623	476	374	67	20	32	75	61	2547
5	408	1748	1505	1301	1028	209	70	98	213	199	6779
Genel Top.	680	2733	2398	2075	1644	319	111	180	347	333	10820

-Ziyaretçi Profili

Ziyaretçi profiline bakıldığında, Wieliczka Tuz Madenleri'ne yapılan ziyaretlerin büyük çoğunluğunun çiftler (%45,3, toplam 5,220 ziyaret) ve arkadaş grupları (%33,0, toplam 3,498 ziyaret) tarafından gerçekleştirildiği görülmektedir. Aile ziyaretleri (%16,7, toplam 2,398 ziyaret) ve yalnız ziyaretler (%5,5, toplam 801 ziyaret) daha düşük oranlarda kalmaktadır.

Çizelge 19. Ziyaretçi Profili.

Ziyaretçi Durumu	2015-2024
Aile olarak ziyaret edenler	2398
Arkadaşları ile ziyaret edenler	3498
İş için ziyaret edenler	201
Yalnız ziyaret edenler	801
Çift olarak ziyaret edenler	5220

-Dil durumu

Bu yorumların dil dağılımına bakıldığında, en yüksek oranı İngilizce (%55,1, toplam 5,961 yorum) alırken, ikinci en yüksek dil İtalyanca (%7,1, toplam 1,143 yorum) olarak tespit edilmiştir. İngilizce ve İtalyanca dışındaki dillerin ise 2-10 yorum arasında olduğu görülmektedir.

3.10. Zedekiah

-Puan-Yorum Dağılımı

Zedekiah mağaraları üzerine yapılan analizde, 2011-2024 yılları arasında toplam 89 TripAdvisor yorumunun dağılımı incelendiğinde, en yüksek oranı 5 yıldız puanlamalarının oluşturduğu görülmektedir (36 yorum, %40,4). Bu, ziyaretçilerin memnuniyet düzeyinin yüksek olduğunu göstermektedir. 4 yıldız puanlamaları 32 yorum (%36,0) ile ikinci sırada yer alırken, daha düşük puanlar olan 3 yıldız (13 yorum, %14,6) ve 2 yıldız (6 yorum, %6,7) ise sınırlı kalmıştır. 1 yıldız değerlendirmesi ise yalnızca 2 yorum (%2,2) ile çok düşük bir orana sahiptir. (Çizelge 20)

Çizelge 20. Puan ve yorum tablosu.

Puan	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Top.
1													1	1	2
2							4		2						6
3	1	2		3	1	1	2	1	2						13
4		3	4	2	4	6	4	4	2	1	1		1		32
5		3	3	5	4	8	3	2	4	1		1	1	1	36
Genel															
Top.	1	8	7	10	9	15	13	7	10	2	1	1	3	2	89

-Ziyaretçi Profili

Ziyaretçi profillerine bakıldığında, Zedekiah mağaralarına yapılan ziyaretlerin büyük çoğunluğunun çiftler (%22,5, toplam 20 ziyaret) ve arkadaş gruplarıyla (%21,3, toplam 19 ziyaret) gerçekleştiği görülmektedir. Aile ziyaretleri (%15,7, toplam 14 ziyaret), yalnız ziyaretler (%15,7, toplam 14 ziyaret) ve iş amaçlı ziyaretler (%1,1, toplam 1 ziyaret) ise daha düşük orandadır. Bu, Zedekiah mağaralarının sosyal ve grup bazlı ziyaretlere daha uygun olduğunu ortaya koymaktadır. (Çizelge 21)

Çizelge 21. Ziyaretçi Profili.

Ziyaretçi Durumu	2011-2024
Aile olarak ziyaret edenler	14
Arkadaşları ile ziyaret edenler	19
İş için ziyaret edenler	1
Yalnız ziyaret edenler	14
Çift olarak ziyaret edenler	20

-Dil Durumu

Dil dağılımına bakıldığında, Zedekiah mağaralarında yapılan toplam 89 yorumun %55,1'i İngilizce (49 yorum) olup, en yüksek orana sahiptir. Bu, bölgenin İngilizce konuşan turistler tarafından daha sık ziyaret edildiğini ve yorumların bu dilde yazıldığını göstermektedir. İkinci en yüksek dil ise Rusçadır, 13 yorum (%14,6) ile öne çıkmaktadır. Diğer dillerde ise yorum sayılarının 10'un altında olduğu tespit edilmiştir.

DEĞERLENDİRME, SONUÇ VE ÖNERİLER

-Puanlama ve Yorum

En yüksek 5 yıldız puan ortalaması %78,3 ile Kudüs Batı Tünelleri'nde görülmektedir. Bu oran, bu şehrin çok yüksek bir memnuniyet seviyesi sunduğunu işaret etmektedir. Wieliczka Tuz Madenleri (%62,7) ve Paris Yeraltı Mezarları (%45,5) gibi şehirler de memnuniyet oranlarıyla öne çıkmış; buna karşılık Les Boves d'Arras gibi yapılarda memnuniyet oranları daha düşük bulunmuştur (%35,9). Çift ve aile ziyaretçilerine özgü sosyal odaklı deneyim arayışlarını destekleyen yapılar, genellikle bu kategoride daha üst sıralarda yer almıştır.

Daha düşük memnuniyet oranlarına sahip olan Kish Yeraltı Şehri gibi destinasyonlar (%46,0), turistik hizmetlerde geliştirilmeye açık noktaları vurgulamış olabilir. Genel olarak bakıldığında, turistik odak ve yapının ziyaretçilere sunabildiği deneyim doğrudan memnuniyet oranlarını şekillendirmiştir.(Çizelge 22)

Çizelge 22. Puan ve yorum tablosu.

Yeraltı Şehri	5 Yıldız (%)	4 Yıldız (%)	3 Yıldız (%)	2 Yıldız (%)	1 Yıldız (%)
Kish Yeraltı Şehri	46	32	14	5	3
Küdüş Batı Tünelleri	78,3	16,4	4	1	0,3
Les Boves d'Arras	35,9	42,4	14,3	5,3	2
Naorus Yeraltı Şehri	35,6	43,6	13,1	4,4	3,3
Paris Yeraltı Mezarları	45,5	33,5	12,3	4,7	4
Pilsen Yeraltı Şehri	45,8	35,5	11,6	4,7	2,5
City of Caves	47,3	35	11,5	3,6	2,6
Orvieto Yeraltı Şehri	54,7	34,6	8,3	2,3	0,1
Wieliczka Tuz Madenleri	62,7	23,5	8,3	2,4	1,2

-Ziyaretçi Profilleri

Ziyaretçi profillerinde belirgin bir biçimde çiftlerin, şehirlerin ana ziyaretçi gruplarını oluşturduğu görülmektedir. Bu oran Wieliczka Tuz Madenleri'nde %45,3, Paris Yeraltı Mezarları'nda ise %44,4 olarak kaydedilmiştir. Aile ziyaretçileri de Paris ve Kish yeraltı şehirlerinde dikkat çekici bir yer tutmuştur. Buna karşın, Naorus gibi kimi destinasyonlar bireysel ziyaretçiler tarafından daha az tercih edilmektedir (%1,8).(Çizelge 23)

Bireysel ve iş amaçlı ziyaretlerin nispeten sınırlı kalması, bu yapıların genellikle sosyal bir bağlamda deneyimlenmek istendiğini göstermektedir. Bu doğrultuda, bireysel ziyaretleri artırmaya yönelik farklı deneyim sunan stratejiler geliştirilebilir.

Çizelge 23. Puan ve yorum tablosu.

Yeraltı Şehri	Aile Ziyaret(%)	Çift Ziyaret (%)	Arkadaş Ziyaret (%)	Yalnız Ziyaret (%)	İş Amaçlı Ziyaret (%)
Kish Yeraltı Şehri	38	31	21	9	6
Küdüş Batı Tünelleri	25,9	27,6	25,1	7,9	3,3
Les Boves d'Arras	23,3	47,5	19,2	5,4	0,4
Naorus Yeraltı Şehri	36,8	27,4	25,7	1,8	1
Paris Yeraltı Mezarları	26,9	44,4	21,1	9,7	0,8
Pilsen Yeraltı Şehri	33,1	43,2	18,4	3,9	1,4
City of Caves	25,9	35,7	16,2	2,4	0,3
Orvieto Yeraltı Şehri	23,5	40,5	15,2	1	0,2
Wieliczka Tuz Madenleri	16,7	45,3	33	5,5	1

-Dil Durumu

Analiz edilen yorumlarda, dil dağılımları dikkat çekici bulgular ortaya koymuştur. Paris Yeraltı Mezarları ve Wieliczka Tuz Madenleri gibi çok ziyaret edilen destinasyonlarda, yorumların büyük bir kısmı (%55–68 aralığında) İngilizce yapılmıştır. Orvieto ve Les Boves d'Arras gibi daha yerel odaklı şehirlerde ise yorumlar yoğunlukla yerel dillerde (Fransızca ve İtalyanca) olmuştur.

Uluslararası ziyaretçilerin ağırlıkta olduğu destinasyonlarda yorumlar çoğunlukla İngilizce yapılırken, yerel odaklı şehirlerde yerel diller baskın olmuştur. Bu durum, farklı hedef gruplara erişim için çok dilli iletişim stratejilerinin geliştirilmesinin önemini vurgulamaktadır. Çalışma kapsamında önerilen, çok dilli bilgilendirme materyalleri ve dijital platformların aktif kullanımı, uluslararası turizmden açısından etkili bir çözüm olabilir.

KAYNAKÇA

- Arıca, R., & Çorbacı, A. (2019). Turizm sektöründe müşterilerin bilgi üretici rolü: Adıyaman'daki turistik çekiciliklere yönelik Tripadvisor sitesinde yer alan yorumlar üzerine bir araştırma. *Seyahat ve Otel İşletmeciliği Dergisi*, 16(3), 437–455.
- Aylan, S. (2019). Ulubey Kanyonlarına yönelik sosyal medyada yapılan ziyaretçi yorumlarının içerik analizi: TripAdvisor.com örneği. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 7(4), 2582–2598.
- Cheng, X., Fu, S., Sun, J., Bilgihan, A., & Okumus, F. (2019). An investigation on online reviews in sharing economy-driven hospitality platforms: A viewpoint of trust. *Tourism Management*, 71, 366–373.
- Cohen, S. A., Prayag, G., & Moital, M. (2014). Consumer behaviour in tourism: Concepts, influences and opportunities. *Current Issues in Tourism*, 17(10), 872–909.
- Yılmaz, E. S. (2020). The effects on consumer behavior of hotel-related comments on the TripAdvisor website: An Istanbul case. *Advances in Hospitality and Tourism Research*, 8(1), 1–29. <https://doi.org/10.30519/ahtr.536303>

TARİHİ YAPILARIN KULLANILMASINDA RESTORE ET- İŞLET-DEVRET SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

Öğr. Gör. İlksen ALVEROĞLU

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi/Avanos Güzel Sanatlar Meslek Yüksekokulu,
ilksenalveroglu@nevsehir.edu.tr - 0000-0002-3835-4176

Prof.Dr. Hicran Hanım HALAÇ

Eskişehir Teknik Üniversitesi/Mimarlık ve Tasarım Fakültesi,
hhhalac@eskisehir.edu.tr - 0000-0001-8046-9914

ÖZET

Taşınmaz kültür varlıkları, toplumların geçmişine ışık tutan ve kültürel kimliğin sürekliliğini sağlayan önemli değerlerdir. Estetik ve tarihî anlamlarının yanı sıra, kültürel hafızayı gelecek nesillere aktaran birer miras niteliğindedir. Ancak kentleşme, altyapı projeleri, ekonomik büyüme ve küreselleşme süreçleri bu yapıların korunmasını tehdit etmektedir. Restorasyon ve bakım süreçlerinin maliyetli, uzun ve yasal engellerle sınırlı olması, bu alanda yenilikçi finansman modellerine olan ihtiyacı artırmıştır. Bu doğrultuda, kamu ve özel sektör iş birliğini esas alan "Restore Et-İşlet-Devret" (RİD) modeli, taşınmaz kültür varlıklarının korunmasında etkili bir çözüm sunmaktadır. RİD modeli, restorasyon sonrası işletme ve bakım süreçlerini özel sektöre devrederek, kültürel varlıkların sürdürülebilir korunmasını ve ekonomik olarak işlevselleştirilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışma, Türkiye'deki taşınmaz kültür varlıklarının korunmasında önemli bir mekanizma haline gelen RİD modelinin 2002-2024 yılları arasındaki uygulamalarını incelemektedir. Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün (VGM) faaliyet raporları ve literatürden elde edilen veriler, modelin zaman içerisindeki gelişimini, restorasyon sonrası yapıların nasıl işlevlendirildiğini ve modelin etkilerini ortaya koymaktadır. Çalışmanın bulguları, RİD modelinin kültürel mirası yaşatarak korunmasına önemli katkılar sağladığını, bu yapıların ekonomik değerlerini artırdığını ve sürdürülebilir kullanımını teşvik ettiğini göstermektedir. Ayrıca, modelin taşınmaz kültür varlıklarının korunmasına yönelik yenilikçi bir çözüm sunduğu ve literatürdeki boşluğu doldurarak somut veri temelli katkılar sunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Restore Et-İşlet-Devret, Kültür Varlıkları, Vakıflar Genel Müdürlüğü.

ANALYSIS OF THE RESTORE-OPERATE-TRANSFER SYSTEM IN THE UTILIZATION OF HISTORICAL BUILDINGS

Lecturer İlksen ALVEROĞLU

Nevşehir Hacı Bektaş Veli University/Avanos Vocational School of Fine Arts,
ilksenalveroglu@nevsehir.edu.tr - 0000-0002-3835-4176

Prof.Dr. Hicran Hanım HALAÇ

Eskişehir Technical University / Faculty of Architecture and Design,
hhhalac@eskisehir.edu.tr - 0000-0001-8046-9914

ABSTRACT

Immovable cultural assets are essential elements that shed light on the past of societies and ensure the continuity of cultural identity. Besides their aesthetic and historical significance, they serve as a legacy that transmits cultural memory to future generations. However, processes such as urbanization, infrastructure projects, economic growth, and globalization pose threats to their preservation. The costly, time-consuming nature of restoration and maintenance processes, coupled with legal obstacles, has heightened the need for innovative financing models in this area. In this context, the "Restore-Operate-Transfer" (ROT) model, based on public-private sector collaboration, offers an effective solution for the preservation of immovable cultural assets. This model ensures the sustainable conservation and economic functionality of cultural assets by entrusting restoration and subsequent operation and maintenance to the private sector.

This study examines the applications of the ROT model, which has become a significant mechanism in the conservation of immovable cultural assets in Turkey between 2002 and 2024. Data obtained from the activity reports of the General Directorate of Foundations (GDF) and literature reviews reveal the development of the model over time, the post-restoration utilization of the assets, and its overall impacts. Findings demonstrate that the ROT model contributes significantly to the conservation of cultural heritage by ensuring its continuity, increasing the economic value of historical buildings, and promoting sustainable use. Furthermore, it offers an innovative solution for preserving immovable cultural assets, filling gaps in the literature, and presenting data-based insights on the model's effectiveness in protecting cultural heritage.

Keywords: Restore-Operate-Transfer, Cultural Heritage, General Directorate of Foundations.

1. GİRİŞ

Taşınmaz kültür varlıkları, buldukları bölgenin kültürel ve sosyal yapısına ilişkin önemli ipuçları sunarak geçmiş ile gelecek arasında bir köprü görevi görmektedir. Bu varlıkların korunması, yalnızca fiziksel yapıların sürekliliğini sağlamaktan öte, toplumun kültürel mirasının gelecek nesillere aktarılması açısından kritik bir öneme sahiptir (Kiper, 2004). Ancak, Türkiye’de son otuz yılda yaşanan hızlı ekonomik büyüme ve küreselleşme süreçlerine paralel olarak kentlerde meydana gelen dönüşümler, imar faaliyetlerini öncelikli bir konu haline getirirken, koruma olgusunu arka plana itmiştir. Özellikle kıyıların yapılaşması, metropolleşme ve uluslararası entegrasyon gibi süreçlerin ekonomik büyümeyi destekleyen etkileri, kültürel miras alanlarında rant odaklı yaklaşımların artmasına neden olmuştur. Bu durum, taşınmaz kültür varlıklarının korunması konusunda ciddi zorluklar yaratmakta; bilgisizlik, bilinçsizlik, ekonomik kaygılar ve kaynak yetersizliği gibi faktörler, bu değerli yapıların zarar görmesine, hatta geri dönüşü olmayan bir şekilde yok olmasına yol açmaktadır (Ahunbay, 2002; Tuna, 2004; Bademli, 2005).

Bu çerçevede, taşınmaz kültür varlıklarının onarılarak yeniden işlevlendirilmesi ve kullanıma açılması büyük bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Kültür varlıklarının taşıdığı değerler, ancak doğru koruma ve değerlendirme yöntemleri ile geleceğe aktarılabilir ve bu değerler, kültürel varlıkların toplumsal bir anlam kazanmasını sağlar (Bademli, 2005). Ancak gelişen teknoloji, artan nüfus ve çoğalan toplumsal ihtiyaçlar, devletin yükümlülüklerini artırmış; bu durum, kamu kaynaklarını çeşitlendirme ihtiyacını gündeme getirmiştir. Geleneksel olarak kamu tarafından önceliklendirilen ihtiyaçlar, günümüzde kamu-özel sektör iş birliği modelleriyle çözülmektedir. Bu değişim, yeni finansman ve yatırım modellerini öne çıkarırken, kültürel varlıkların korunmasında yenilikçi yaklaşımlara olanak sağlamaktadır (Barney, 1991; Porter, 1991).

Vakıflar Genel Müdürlüğü de bu bağlamda taşınmaz kültür varlıklarının sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla uygun yöntemler belirlemekte ve bu yöntemlere dayalı projeler geliştirmektedir. İmar durumuna göre, kat karşılığı projeler, yapım karşılığı uzun süreli kiralama (Yap-İşlet-Devret modeli) ya da restorasyon ve onarım karşılığı uzun süreli kiralama (Restore Et-İşlet-Devret modeli) gibi çeşitli yaklaşımlar uygulamaktadır (Akdeniz, 2008). Bu modeller, kültür varlıklarının korunmasını sağlarken aynı zamanda vakıf kimliğini ve medeniyet mirasını sürdürme amacına da hizmet etmektedir. Bu modeller, farklı bakış açılarını barındırabilen ve bu kültürel varlıkların varlığını sürdürmesini sağlarken aynı zamanda vakfın kültür ve medeniyetinin kimliğini ve önemini koruyan projeler geliştirme fırsatları sunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de taşınmaz kültür varlıklarının korunmasında uygulanan "Restore Et-İşlet-Devret" modelinin etkilerini incelemektir. Özellikle bu model kapsamında restorasyon veya onarım karşılığı kiralanen tarihi yapıların sayısal verilerini toplayarak, verilen yeni işlevlerin çeşitliliği durumları tespit edilmiştir. Ayrıca, bu modelin taşınmaz kültür varlıklarının korunması sürecine sağladığı katkılar ve kültürel mirasın sürdürülebilir kullanımına olan etkileri de analiz edilecektir. Çalışma, söz konusu modelin uygulandığı tarihi yapıların korunması ve yeni işlevlerle yaşatılması bağlamında önemli veriler sunarak, bu yaklaşımın kültürel mirasın korunmasında nasıl bir rol oynadığını daha iyi anlamayı amaçlamaktadır. Araştırma sürecinde literatür taraması yapılmış, veriler toplanmış ve analiz edilmiştir. Araştırmanın ilk aşamasında, modelin teorik çerçevesini oluşturmak için kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Bu süreçte toplu veri tabanları, akademik makaleler ve Vakıflar Genel Müdürlüğü ile ilgili yasal mevzuatlar incelenmiştir. Literatür taraması sırasında, özellikle “Restore Et-İşlet-Devret” modelinin durumuna, tarihi yapıların korunmasındaki önemi ve Türkiye’deki yasal çerçeveye dair bilgiye odaklanılmıştır.

Araştırmanın veri toplama sürecinde, Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün 2008-2023 yılı arasında yayınladığı faaliyet raporları incelenmiş ve VGM'nin resmi internet sitesi üzerinde "Faaliyetler" "Yatırımlar" yatırımlar altında "Restorasyon veya Onarım Karşılığı Kiralama" başlıklı sayfa incelenmiştir. Alınan açık erişimli veriler tablolastırılacak verilmiştir. 2009 yılında yer alan faaliyet raporunda 2003-2009 arasında restorasyon veya onarım karşılığı kiralanmış taşınmazlar toplam olarak verildiği için faaliyet raporları 6 yıllık dilimler üzerinden yorumlanmıştır. Ayrıca Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün resmi internet sitesinde yer alan "ihaleler" bölümü incelenmiştir. (URL-1) Bu kapsamda, son bir yıl içerisinde restore edilmek veya onarılmak üzere kiralanmış taşınmaz kültür varlıkları tespit edilmiştir.

2. TÜRKİYE'DE TAŞINMAZ KÜLTÜR VE TABİAT VARLIKLARININ KORUNMASINA YÖNELİK YASAL DÜZENLEMELER

Vakıflar Genel Müdürlüğü (VGM), sahip olduğu eski eserlerin, günümüzde taşınmaz kültür varlıkları olarak kabul edilen gayrimenkullerin korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu rol, yasal mevzuatla belirlenmiş olup, Cumhuriyet döneminde üretilen ve VGM'nin bağlı olduğu mevzuat, taşınmaz kültür varlıklarının korunmasına yönelik yasal tavırların şekillendirilmesinde temel alınmıştır.

Türkiye'de taşınmaz kültür ve tabiat varlıklarının korunması konusunda çeşitli yasal düzenlemeler yapılmış ve bu düzenlemeler zaman içerisinde gelişim göstermiştir. İlk kapsamlı düzenlemelerden başlayarak günümüze kadar olan süreçte, bu mevzuatlar koruma politikalarının temelini oluşturmuştur.

1935 yılında, 2762 sayılı Vakıflar Kanunu kabul edilmiştir. Bu kanun, Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün (VGM) görev ve yetkilerini tanımlayarak taşınmaz vakıf kültür varlıklarının korunması için yasal bir çerçeve oluşturmuştur.

1957 yılında, 7044 sayılı Aslında Vakıf Olan Tarihi ve Mimari Kıymeti Haiz Eski Eserlerin Vakıflar Umum Müdürlüğüne Devrine Dair Kanun yürürlüğe girmiştir. Bu kanun, tarihi ve mimari değeri olan taşınmaz vakıfların Vakıflar Genel Müdürlüğü'ne devrini düzenleyerek önemli bir adım atmıştır.

1964 yılında, 7044 sayılı Kanunun Uygulanma Şeklini Gösteren Tüzük yayımlanmıştır. Bu tüzük, kanunun uygulanma esaslarını detaylandırmıştır.

1983 yılı, taşınmaz kültür ve tabiat varlıklarının korunmasında önemli bir dönüm noktasıdır. Bu yıl, 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu yürürlüğe girmiştir. Kanun, taşınmaz kültür varlıklarının korunmasına yönelik kapsamlı hükümler içermiştir. Aynı yıl yürürlüğe giren 2886 sayılı Devlet İhale Kanunu, kamu ihalelerinin usul ve esaslarını belirleyerek koruma projelerinde uygulanabilir bir zemin hazırlamıştır.

1984 yılında, Tarihi ve Bedii Değeri Olan Taşınmaz Malların Kiraya Verilmesi Hakkında Yönetmelik yayımlanmış ve tarihi taşınmazların kiralanmasına ilişkin esaslar belirlenmiştir.

1985 yılında, Özel Hukuka Tabi Gerçek ve Tüzel Kişilerin Mülkiyetinde Bulunan Korunması Gerekli Taşınmaz Kültür Varlıklarının Onarımına Katkı Fonu Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Bu düzenleme, özel mülkiyetteki taşınmazların onarımı için katkı fonu oluşturmuştur.

1986 yılında, Tasarrufu Kısıtlanan Bina, Arsa ve Arazi Hakkında Yönetmelik yayımlanmıştır. Yönetmelik, koruma altındaki taşınmazların tasarruf işlemleri ile ilgili düzenlemeler getirmiştir.

1987 yılında, Korunması Gerekli Taşınmaz Kültür ve Tabiat Varlıklarının Tespit ve Tescili Hakkında Yönetmelik kabul edilmiştir. Bu yönetmelik, taşınmaz kültür varlıklarının tespit ve tescil süreçlerini düzenlemiştir.

1989 yılında, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu ile Koruma Kurulları Yönetmeliği yayımlanmıştır. Bu yönetmelik, koruma kurullarının görev ve yetkilerini belirlemiştir.

1990 yılında, Kesin İnşaat Yasağı Getirilen Korunması Gerekli Taşınmaz Kültür ve Tabiat Varlıklarının Bulunduğu Sit Alanlarındaki Taşınmaz Malların Hazineye Ait Taşınmaz Mallarla Değiştirilmesi Hakkında Yönetmelik yürürlüğe girmiştir. Sit alanlarındaki taşınmazlarla ilgili önemli düzenlemeler yapılmıştır.

1993 yılında, Taşınmaz Kültür ve Tabiat Varlıklarının Bakım, Onarım, Restorasyon, Değerlendirme, Muhafaza ve Nakil İşleri ile Bu Maksatla Hazırlanacak Projelerin Yapılması ve Arkeolojik Kazılarda Kullanılacak Aletlerin Alımı Hakkında Yönetmelik yayımlanmıştır. Bu düzenleme, taşınmazların bakım ve restorasyon süreçlerini kapsayan kapsamlı hükümler getirmiştir.

2004 yılında, taşınmaz kültür varlıklarının korunmasına yönelik iki önemli kanun çıkarılmıştır. İlki, 5225 sayılı Kültür Yatırımları ve Girişimlerini Teşvik Kanunudur. Bu kanun, kültür yatırımlarını teşvik etmeyi amaçlamaktadır. İkincisi ise 5226 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu ile Çeşitli Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanundur. Bu kanun, 2863 sayılı Kanun üzerinde değişiklikler yapmıştır.

2005 yılında, 5366 sayılı Yıpranan Tarihi ve Kültürel Taşınmaz Varlıkların Yenilenerek Korunması ve Yaşatılarak Kullanılması Hakkında Kanun yürürlüğe girmiştir. Bu kanun, yıpranmış kültür varlıklarının yenilenmesini ve korunmasını hedeflemiştir.

2008 yılında, 5737 sayılı Vakıflar Kanunu kabul edilmiştir. Bu kanun, vakıf kültür varlıklarının korunmasına yönelik yeni hükümler içermektedir. Aynı yıl yayımlanan Vakıf Kültür Varlıklarının Restorasyon veya Onarım Karşılığı Kiraya Verilmesi İşlemlerinin Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik, vakıf taşınmazlarının restorasyon karşılığı kiralanması ile ilgili detaylı düzenlemeler yapmıştır.

3. YÖNTEM

Araştırmanın başlangıç aşamasında, "Restore Et-İşlet-Devret" modelinin teorik çerçevesini oluşturmak amacıyla kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Bu kapsamda, toplu veri tabanları, akademik makaleler, ulusal raporlar ve ilgili yasal mevzuatlar incelenmiştir. Özellikle, Türkiye’de kültürel mirasın korunmasına ilişkin yasal düzenlemeler ve uygulamalara odaklanılmıştır. Araştırmanın veri toplama süreci iki ana kaynaktan faydalanmıştır. İlk olarak, Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün 2008-2023 yılları arasında yayımladığı faaliyet raporları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu raporlar, restore edilmek veya onarılmak üzere kiralanmış taşınmaz kültür varlıklarına ilişkin istatistiksel veriler içermekte olup, araştırma için temel veri kaynaklarından birini oluşturmuştur. Faaliyet raporlarından elde edilen veriler, belirli dönemlere (örneğin, 2003-2009 yılları arasında gerçekleştirilen uygulamalar) göre gruplanarak değerlendirilmiştir. Veri toplama sürecinde ayrıca Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün resmi internet sitesindeki "Faaliyetler", "Yatırımlar" ve "İhaleler" başlıkları altında yer alan bilgiler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Toplanan açık erişimli veriler, kapsamlı bir tablolama sürecine tabi tutulmuştur. Tablolama işlemi, modelin restore edilen veya onarılan yapıların türlerini-işlevlerini ve sayılarını değerlendirme imkânı sağlamıştır. Elde edilen veriler, tanımlayıcı istatistikler ve içerik analizi yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Bu analizler sonucunda, taşınmaz kültür varlıklarının korunması ve sürdürülebilir kullanımına yönelik modelin etkileri hem niceliksel hem de niteliksel açıdan tartışılmıştır. Araştırma verileri, bulgular kısmında detaylı olarak sunulmuştur. Bu yöntemsel yaklaşım, "Restore Et-İşlet-Devret" modelinin taşınmaz kültür varlıklarının korunması üzerindeki etkilerini çok boyutlu bir şekilde incelemeyi mümkün kılmış ve elde edilen verilerin bilimsel geçerliliğini artırmıştır.

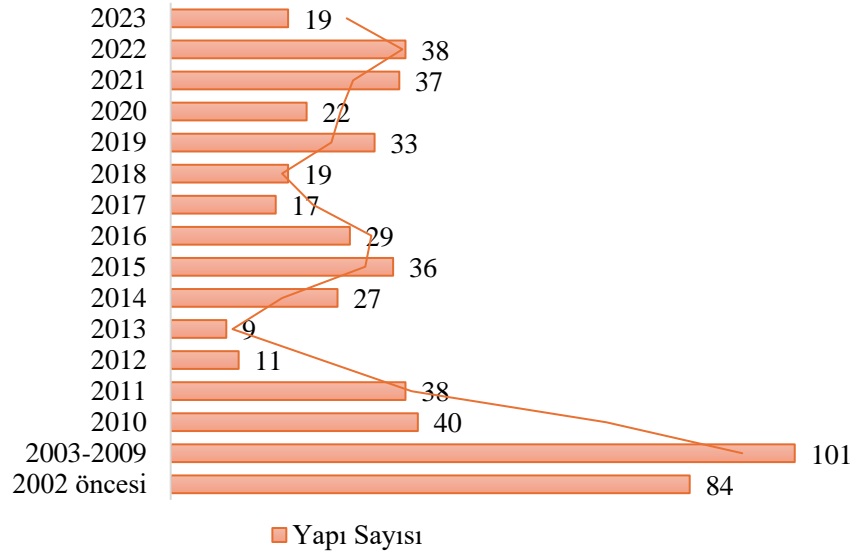
4. BULGULAR

4.1. Yapıların Yıllara Göre Kiralanma Sayıları

VGM'nin faaliyet raporları incelendiğinde 2008 yılında "Restorasyon veya Onarım Karşılığı Kiralama" verileri sadece "75 Adet taşınmazın İpekyolu'nun canlandırılması amacıyla

Restore Et-İşlet-Devret Modeline Göre Değerlendirilmesi için karar alınmıştır. Bu taşınmazlardan 39 adeti ihale edilmiştir. Diğer taşınmazlarda yeniden ihale edilmek üzere çalışmaları devam etmektedir. Bu restorasyonların tamamlanması sonucunda; 42 adet taşınmaz, sosyal-kültürel ve turizm amaçlı kullanılmak üzere hizmete açılacaktır.” (VGM Faaliyet Raporu,2008) Bu durumda 2008 yılı içerisinde 39 adeti ihale edilmiş. Ancak 42 adet toplamda yapı Restore Et- İşlet-Devret sistemi ile kiralanacaktır.2009-2023 yılları arasında bulunan Restorasyon veya onarım karşılığı kiralananan yapıların işlev bilgileri ve sayıları yer almaktadır. 2002-2021 verileri ise web sitesinde yer almaktadır. Yıllar içerisinde “Restore Et-İşlet-Devret” sistemi ile kiralananan yapıların durumu Çizelge 1’de yer almaktadır

Çizelge 1. Yıllara göre yapıların Restore Et-İşlet- Devret ile kiralanması.



Grafik analizinde,

2002 öncesinde 84 yapı ile, restorasyon faaliyetlerinin daha az sistematik bir yaklaşımla yürütüldüğü bir dönemi temsil etmektedir. 2008 yılında kabul edilen 5737 sayılı Vakıflar Kanunu ve aynı yıl yayımlanan Vakıf Kültür Varlıklarının Restorasyon veya Onarım Karşılığı Kiraya Verilmesi İşlemlerinin Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik, vakıf kültür varlıklarının korunmasına yönelik bir dönüm noktası niteliğindedir. Bu yasal düzenlemeler, özellikle Restore Et-İşlet-Devret modeli çerçevesinde, tarihi taşınmazların hem korunması hem de ekonomik değer yaratacak şekilde yeniden işlevlendirilmesi açısından önemli bir zemin oluşturmuştur. İlgili döneme ait verilere bakıldığında, bu politikaların restorasyon faaliyetlerini doğrudan etkilediği gözlemlenmektedir.

VGM’ni verilerinde 2003-2009 arası veriler yer aldığı için 6 yıllık periyotlar ile bir değerlendirme yapılmıştır. 2003-2009 yılları arası 101 yapı restore et-işlet-devret sistemi ile kiralanmıştır.

2010-2011: Bu yıllar, restorasyon çalışmalarının 40 ve 38 yapı ile yüksek seviyede devam ettiği bir dönemdir. Yönetmeliklerin ve kanunun etkisinin güçlü bir şekilde sürdüğü görülmektedir.

2012-2013: Bu dönemde restorasyon faaliyetlerinde keskin bir düşüş gözlemlenmektedir (2012 yılında 11 yapı, 2013 yılında yalnızca 9 yapı). Bu azalma, ekonomik dalgalanmalar ve bürokratik süreçlerdeki tıkanıklıklarla ilişkilendirilebilmektedir. Ayrıca, 2008 sonrası yoğunlaşan projelerin tamamlanma süreçleri ile yeni projelere başlama hızındaki uyumsuzluk, bir duraklama dönemine yol açmış olabilmektedir.

2014-2016: 2014 yılında restorasyon sayısı tekrar yükselerek 27’ye, 2015 yılında ise 36’ya ulaşmıştır. Bu artış, restorasyon karşılığı kiralama modeline yönelik ilginin yeniden

canlandırıldığını göstermektedir. Ancak 2016 yılında sayı yeniden 29'a düşerek bu artışın sınırlı bir süre ile devam ettiğini göstermiştir.

Genel durum incelendiğinde 2010-2016 yılları arasında 190 yapının restore et-işlet-devret sistemi ile kiralandığı görülmektedir. 2002-2009 dönemine bakıldığında 2008 sonrasındaki ilk 6 yıllık periyotta %88,11 bir artış meydana geldiği görülmektedir. Bu durumda 2008 sonrasında restore et-işlet-devret faaliyetinde bir artış olduğunu göstermektedir.

2017-2018: Restorasyon faaliyetleri bu dönemde önemli ölçüde azalmıştır (2017 yılında 17 yapı, 2018 yılında 19 yapı). Ekonomik koşullardaki dalgalanmalar ve inşaat sektöründe yaşanan genel yavaşlama bu düşüşün başlıca nedenleri arasında olabilmektedir.

2019-2023: Restorasyon sayısı bu dönemde tekrar bir miktar artarak 2019 yılında 33 yapıya ulaşmış ancak sonraki yıllarda tekrar azalmıştır. Özellikle 2020 yılındaki 22 yapı restorasyonu, COVID-19 pandemisinin ekonomik ve operasyonel etkilerinden kaynaklanmış olabilir. 2023 yılına kadar geçen süreçte ise restorasyon sayısının 19'da kaldığı gözlemlenmiştir.

2017-2023 yılları arasındaki genel duruma bakıldığında toplam 110 yapının RİD sistemi ile kiralandığı görülmektedir. 2003-2009 dönemine göre sayı yüksek olsa da 2010-2016 dönemine göre %42,10 bir azalma görülmektedir.

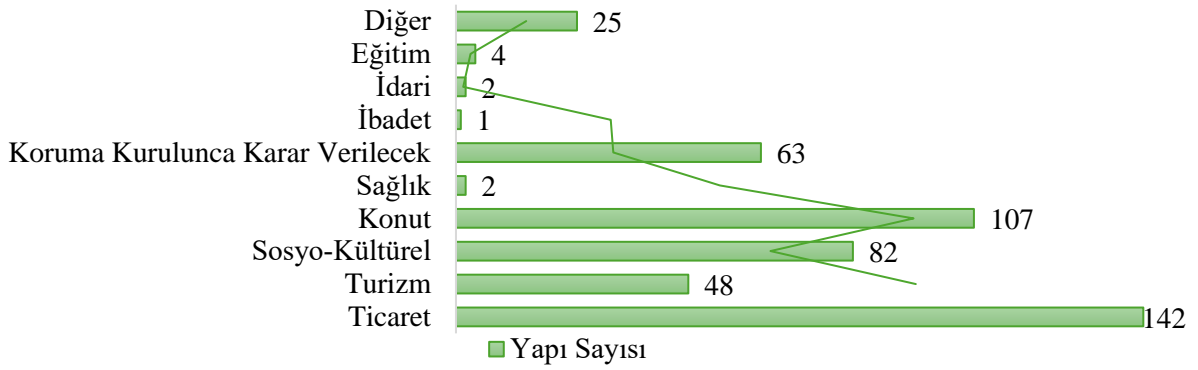
İhalelerde geçmiş ihalelere dönüldüğünde araştırma tarihi itibari ile 52 adet RİD modeli ile kiralama yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Sonuç olarak, 2008 sonrası dönemde vakıf kültür varlıklarının korunması ve yeniden işlevlendirilmesi amacıyla uygulanan politikaların, restorasyon faaliyetlerinde kısa vadede olumlu etkiler yarattığı, ancak uzun vadeli bir sürdürülebilirlik sağlama konusunda eksiklikler taşıdığı söylenebilmektedir.

4.2. Yapıların İşlevlerine Göre Sayıları

Yapılara verilen işlevlere göre bir analiz yapılmak istendiğinde öncelikle bir sınıflandırma yapılması gerekmektedir. Yapılan sınıflandırmaya göre taşınmazların işlevleri, belirli kategoriler altında toplanmıştır. Ticaret tesisleri; ticaret işlevi gören yapılar, ticari bürolar, kültürel-ticari kullanım, iş yerleri, bedesten ve hanlar olarak gruplandırılmıştır. Turizm tesisleri ise turistik faaliyetlere hizmet eden yapıları içermekte olup turizm, kültürel-turizm, butik otel/otel, kaplıca ve kervansaray işlevleri bu kategoride yer almıştır. Sosyo-kültürel tesisler, kültürel faaliyetlere odaklanan yapılar arasında sosyo-kültürel tesisler, kültürel tesisler, müze, arkeopark, kütüphane ve medrese işlevlerini kapsamaktadır. Konut kategorisi, yalnızca konut işlevi gören taşınmazları içerirken, sağlık tesisleri kategorisinde sağlık işlevine sahip yapılar ve kültürel sağlık tesisleri bulunmaktadır. Koruma kurulu kararına göre işlevlendirilmesi gereken yapılar ayrı bir grup oluşturmuş ve kurul tarafından belirlenecek işlevlere bırakılmıştır. Ayrıca, ibadet işlevine sahip yapılar "ibadet", yönetim işlevine sahip taşınmazlar "idari", eğitim işlevi taşıyan yapılar ise "eğitim" kategorisinde değerlendirilmiştir. Son olarak, hamam ve fabrika gibi işlevleri diğer gruplara girmeyen taşınmazlar "diğer" kategorisine dahil edilmiştir. Bu sınıflandırma, taşınmazların işlevsel çeşitliliğini sistematik bir şekilde incelemek için önemli bir temel sunmaktadır. (Çizelge 2.)

Çizelge 2. Verilen İşlevlerine göre Restore Et-İşlet-Devret Yapıları



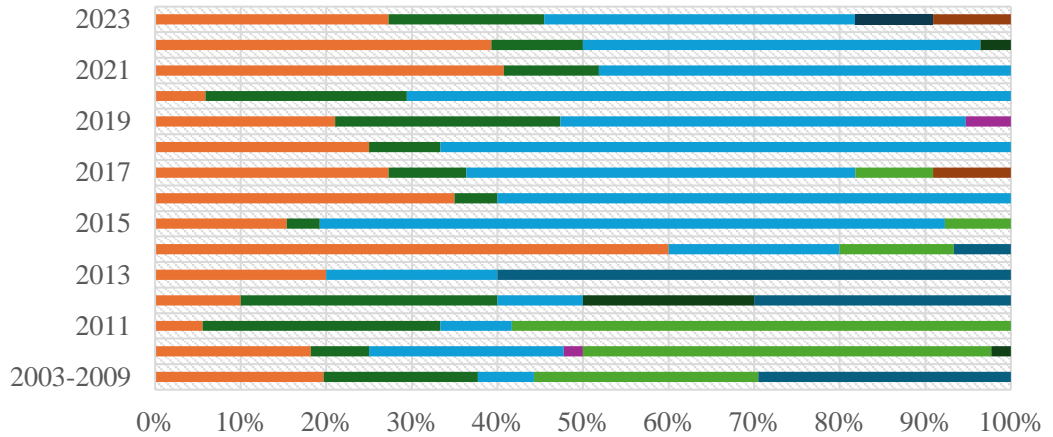
Restorasyon projelerinde tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesi süreci, yalnızca yapıların fiziksel korunmasını değil, aynı zamanda toplumsal ve ekonomik fayda üretmesini amaçlayan çok boyutlu bir yaklaşıma sahiptir. İncelenen veriler, Restore Et-İşlet-Devret (RİD) modeli kapsamında restore edilen kültürel miras varlıklarına en sık atanan işlevlerin ticaret, turizm ve sosyo-kültürel kullanım olduğunu göstermektedir. Bu eğilim, tarihi yapıların ekonomik sürdürülebilirliğini sağlama çabalarıyla doğrudan ilişkilendirilebilir. Yapılan analizler, tescilli taşınmazların işlevlendirilmesinde en çok tercih edilen işlevlerin ticaret, turizm ve sosyo-kültürel tesisler olduğunu ortaya koymaktadır. Bu tür işlevler, tarihi yapıların modern toplumsal ve ekonomik hayata entegrasyonunu sağlayarak, kültürel mirasın korunmasına katkıda bulunurken, aynı zamanda bu yapıları sürdürülebilir kılmaktadır. Ticaret işlevi, özellikle bedestenler, hanlar, iş yerleri ve ticaret büroları gibi yapılar üzerinde yoğunlaşmakta olup, yerel ekonomiye katkı sağlamakta ve bu yapıları günlük yaşamda canlı tutmaktadır. Turizm işlevi de önemli bir yer tutmakta; butik oteller, kaplıcalar, kervansaraylar gibi kullanımlar, tarihi yapıların hem yerel halk hem de turistler tarafından kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bu işlevlerin, tarihi yapıların ekonomik değerlerini artırma ve kültürel mirasın sürdürülebilirliğine katkı sağlama açısından önemli bir rolü bulunmaktadır. Sosyo-kültürel tesisler ise diğer önemli bir işlev kategorisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Müze, kültürel tesis, arkeopark ve kütüphane gibi işlevler, tarihi yapıların toplumsal hafızada yer edinmesini sağlayarak, kültürel mirasın eğitimsel ve toplumsal boyutlarını güçlendirmektedir. Bu tür işlevlerin, toplumsal bilinçlenmeye ve kültürel değerlere duyarlılığın artırılmasına katkı sunduğu, kültürel mirasın korunmasında önemli bir araç olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular, ticaret, turizm ve sosyo-kültürel tesislerin, tescilli taşınmazların işlevlendirilmesinde yaygın olarak tercih edilen başlıca işlevler olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, bu işlevlerin her birinin, tarihi yapıların özgün değerleriyle uyumlu bir biçimde belirlenmesi gerektiği vurgulanmalıdır. İşlevlendirme sürecinde, yapıların mimari ve tarihi özelliklerine zarar vermemek, aksine bu değerleri modern işlevlerle bütünleştirmek önemli bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Dolayısıyla, işlevlendirme sürecinde uzman görüşlerinin ve koruma ilkelerinin dikkate alınması büyük önem taşımaktadır. Taşınmazların işlevlendirilmesinin yalnızca ekonomik bir süreç olmayıp, aynı zamanda kültürel sorumluluk taşıyan bir yaklaşım gerektirdiği sonucuna ulaşılmaktadır. Bu doğrultuda, koruma ve kullanım arasındaki dengeyi sağlamak adına, işlev seçiminin bilimsel ve kültürel temeller üzerine inşa edilmesi gerektiği söylenebilir. Tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesi sürecinde, işlevi belirlenmemiş taşınmazlar için karar alma yetkisinin koruma kurullarına bırakılması, kültürel mirasın korunması adına önemli bir düzenleme olarak değerlendirilmektedir. Kurullar, yapıların fiziksel bütünlüğünü, tarihi kimliğini ve özgün değerlerini gözeterek işlevlendirme kararı alırken, kültürel mirasın yaşatılması ve sürdürülebilirliğini sağlamayı hedeflemektedir. Ancak, bu sürecin bazı dezavantajlar içerdiği gözlemlenmiştir.

İşlev belirleme yetkisinin yalnızca kurul kararına bağlı olması, yerel ihtiyaçların ve toplumsal beklentilerin yeterince dikkate alınmadığı durumlara yol açabilir. Yerel halkın, sivil toplum kuruluşlarının ve diğer paydaşların süreçlere yeterince dahil edilmemesi, işlevlendirme kararlarının toplumun gerçek ihtiyaçlarıyla uyumsuz olmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, kurul kararlarının belirli bir standart çerçevesinde alınması, her yapının özgün bağlamı ve potansiyel işlevleri açısından yeterince esnek bir yaklaşım sunamayabilir. Bu durum, yapıların potansiyellerinin tam olarak değerlendirilememesi riskini beraberinde getirmektedir. Konut işlevinin tercih edilmesi, yapının topluma açık olma olasılığını sınırlayarak kültürel mirasın yalnızca bireysel kullanım düzeyinde kalmasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte, konut işlevinin korunması, özellikle tarihi kent dokusu içinde önemli bir yer tutan sivil mimarlık örneklerinin yaşatılması ve geleneksel yaşam biçimlerinin sürdürülmesi açısından olumlu etkiler yaratabilir.

4.3. Yıllara Göre İşlevlerin Analizleri

Tablodaki veriler, 2003-2023 yılları arasında farklı işlev gruplarına ait yapıların dağılımını göstermektedir. İncelenen dönemde yapıların kullanım türleri sosyo-kültürel, turizm, konut, sağlık, koruma kurulu kararı bekleyenler, ibadet, idari, eğitim ve diğer kategorilerinde sınıflandırılmıştır. Sosyo-kültürel işlevli yapılar, yıllar boyunca istikrarlı bir şekilde en yoğun görülen kategori olarak öne çıkmaktadır. 2003-2009 yıllarında 12 adet yapı bu gruba dahilken, 2019'dan itibaren bu sayı artış göstermiştir. 2020-2023 arasında da belirgin bir yoğunlaşma gözlenmiştir. Turizm işlevli yapılarda ise dalgalı bir seyir izlenmiştir. Özellikle 2011 ve 2020 yıllarında artış yaşanmış, 2022-2023 döneminde yeniden yükselme görülmüştür. Bu durum, turizm sektörünün farklı yıllardaki hareketliliğini yansıtmakta ve kültürel mirasın turizm amaçlı kullanımının arttığına işaret etmektedir. (Çizelge 3)

Çizelge 3. Verilen İşlevlerine ve yıllara göre Restore Et-İşlet-Devret Yapıları



	2003 - 2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Sosyo-Kültürel	12	8	2	1	1	9	4	7	3	3	4	1	11	11	3
Turizm	11	3	10	3	0	0	1	1	1	1	5	4	3	3	2
Konut	4	10	3	1	1	3	19	12	5	8	9	12	13	13	4
Sağlık	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Koruma Kurulunca Karar Verilecek	16	21	21	0	0	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0
İbadet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
İdari	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Eğitim	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Diğer	18	0	0	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Konut işlevli yapılar, 2014 yılında 19 adet ile zirve yapmış ancak 2016 sonrasında belirgin bir düşüş göstermiştir. Bu azalma, yapıların kullanım değişimlerine ya da farklı işlev gruplarına dönüştürülmesine yönelik müdahalelerden kaynaklanıyor olabilir. Koruma kurulu kararı bekleyen yapılar ise 2003-2012 döneminde yüksek seviyelerde seyrederken, özellikle 2010 ve 2011 yıllarında en fazla sayıya ulaşmıştır. 2013'ten itibaren bu grupta önemli bir azalma gözlenmiştir. Bu durum, yapıların koruma statülerinin netleştiği ya da koruma kararlarının tamamlandığı şeklinde yorumlanabilir. Sağlık, ibadet, idari ve eğitim yapıları ise yıllar boyunca oldukça sınırlı sayıda tespit edilmiş ve neredeyse hiç değişim göstermemiştir. Diğer kategorideki yapılar, 2003-2009 döneminde yoğunken sonraki yıllarda azalma göstermiş, 2013 sonrasında bu grupta yapı kaydı yapılmamıştır.

Genel olarak, veriler yapıların zaman içinde sosyo-kültürel ve turizm işlevlerine doğru bir dönüşüm gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu eğilim, yerel kültürel mirasın turizm ve sosyal etkinlikler aracılığıyla değerlendirildiğini ve kullanım çeşitliliğinin arttığını göstermektedir. Konut işlevli yapıların 2014 sonrası düşüşü ise, kentsel dönüşüm ya da kültürel mirasın farklı kullanım biçimlerine yönlendirildiğine dair ipuçları sunmaktadır. Ayrıca, koruma karar süreçlerinin erken dönemlerde yoğunlaşması ve sonraki yıllarda azalması, yapıların statülerinin zamanla netleştiğini göstermektedir. Tüm bu eğilimler, kültürel mirasın sürdürülebilir kullanımı ve korunması bağlamında önemli veriler sunmakta ve gelecekteki planlamalar için dikkate alınması gereken noktaları ortaya koymaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarihi yapıların korunması ve yeniden işlevlendirilmesi, kültürel mirasın geleceğe aktarılmasında hem sosyal hem de ekonomik açıdan önemli bir rol oynamaktadır. Restore Et-

İşlet-Devret (RİD) modeli, bu süreci finansal sürdürülebilirlikle birleştirerek kültürel varlıkların fiziksel ve ekonomik anlamda yaşatılmasını mümkün kılmaktadır. İncelenen veriler, bu modelin uygulanmasında turizm ve sosyo-kültürel tesis işlevlerinin öncelikli olarak tercih edildiğini göstermektedir. Bu işlevler, kültürel mirasın toplumsal yaşamla bütünleşmesini sağlarken, yapıların ekonomik potansiyelini de artırmaktadır. Ancak, yalnızca bu iki işlevin öne çıkması, yerel ihtiyaçların ve toplumsal çeşitliliğin yeterince dikkate alınmadığı durumlara yol açabilir.

Ticaret, turizm ve sosyo-kültürel tesislerin, tescilli taşınmazların işlevlendirilmesinde yaygın olarak tercih edilen başlıca işlevler olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, bu işlevlerin her birinin, tarihi yapıların özgün değerleriyle uyumlu bir biçimde belirlenmesi gerektiği vurgulanmalıdır. İşlevlendirme sürecinde, yapıların mimari ve tarihi özelliklerine zarar vermemek, aksine bu değerleri modern işlevlerle bütünleştirmek önemli bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Dolayısıyla, işlevlendirme sürecinde uzman görüşlerinin ve koruma ilkelerinin dikkate alınması büyük önem taşımaktadır. Taşınmazların işlevlendirilmesinin yalnızca ekonomik bir süreç olmayıp, aynı zamanda kültürel sorumluluk taşıyan bir yaklaşım gerektirdiği sonucuna ulaşılmaktadır. Bu doğrultuda, koruma ve kullanım arasındaki dengeyi sağlamak adına, işlev seçiminin bilimsel ve kültürel temeller üzerine inşa edilmesi gerektiği söylenebilir. Tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesi sürecinde, işlevi belirlenmemiş taşınmazlar için karar alma yetkisinin koruma kurullarına bırakılması, kültürel mirasın korunması adına önemli bir düzenleme olarak değerlendirilmektedir. Kurullar, yapıların fiziksel bütünlüğünü, tarihi kimliğini ve özgün değerlerini gözeterek işlevlendirme kararı alırken, kültürel mirasın yaşatılması ve sürdürülebilirliğini sağlamayı hedeflemektedir. Ancak, bu sürecin bazı dezavantajlar içerdiği gözlemlenmiştir.

İşlev belirleme yetkisinin yalnızca kurul kararına bağlı olması, yerel ihtiyaçların ve toplumsal beklentilerin yeterince dikkate alınmadığı durumlara yol açabilir. Yerel halkın, sivil toplum kuruluşlarının ve diğer paydaşların süreçlere yeterince dahil edilmemesi, işlevlendirme kararlarının toplumun gerçek ihtiyaçlarıyla uyumsuz olmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, kurul kararlarının belirli bir standart çerçevesinde alınması, her yapının özgün bağlamı ve potansiyel işlevleri açısından yeterince esnek bir yaklaşım sunamayabilir. Bu durum, yapıların potansiyellerinin tam olarak değerlendirilememesi riskini beraberinde getirmektedir. Konut işlevinin tercih edilmesi, yapının topluma açık olma olasılığını sınırlayarak kültürel mirasın yalnızca bireysel kullanım düzeyinde kalmasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte, konut işlevinin korunması, özellikle tarihi kent dokusu içinde önemli bir yer tutan sivil mimarlık örneklerinin yaşatılması ve geleneksel yaşam biçimlerinin sürdürülmesi açısından olumlu etkiler yaratabilir.

Bütüncül bir değerlendirme yapıldığında, tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesi sürecinde işlev belirleme yaklaşımlarının daha esnek, katılımcı ve yerel bağlama duyarlı bir çerçevede ele alınması gerektiği görülmektedir. Yerel yönetimlerin, sivil toplum kuruluşlarının, akademik çevrelerin ve yerel halkın işlevlendirme süreçlerine dahil edilmesi, yapıların toplumsal ve ekonomik sürdürülebilirliğini artırabilecektir. Ayrıca, işlev çeşitliliğinin teşvik edilmesi, tarihi yapıların yalnızca ekonomik kazanç getiren unsurlar olarak değerlendirilmesini engelleyerek, onların toplumsal belleğin bir parçası olarak yaşatılmasını sağlayacaktır.

Sonuç olarak, RİD modeli ve koruma kurulları tarafından yönlendirilen işlevlendirme süreçleri, tarihi yapıların korunmasında ve yaşatılmasında etkili araçlar sunmaktadır. Ancak bu süreçlerin yerel bağlamı gözetken ve daha geniş paydaş katılımını içeren bir anlayışla ele alınması, kültürel mirasın yalnızca fiziksel bir öge olarak değil, aynı zamanda toplumsal yaşamın bir unsuru olarak geleceğe aktarılmasında kilit bir rol oynayacaktır.

KAYNAKÇA

- Ahunbay, Z. (2002). National reports – Turkey. Heritage at Risk: ICOMOS World Report 2002/2003 on Monuments and Sites in Danger. <http://www.international.icomos.org/risk/2002/turkey2002.htm> (Erişim tarihi: 8 Aralık 2024).
- Akdeniz, M. (2008). Kadastro ve imar uygulamalarında vakıf taşınmazların yeri. II. Kadastro Kongresi, Ankara.
- Bademli, R. (2005). Doğal, tarihi ve kültürel değerlerin korunması. ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Barney, J. B. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120.
- Kiper, P. (2004). Küreselleşme sürecinde kentlerimize giren yeni tüketim mekanları ve yitirilen kent kimlikleri. *Planlama*, 2004(4), 14–18.
- Porter, M. E. (1991). Towards a dynamic theory of strategy. *Strategic Management Journal*, 12, 95–117.
- Tuna, N. (2004). Sustainability in cultural heritage management, setting strategies of cultural heritage preservation with modern development. In E. Erten & B. Ergenç (Eds.), *Mersin region steeped in ancient history and culture* (pp. 62–64). Mersin.
- Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun, no: 5035, Resmî Gazete, 2 Ocak 2004.
- 2762 sayılı Vakıflar Kanunu, Resmî Gazete, 16 Kasım 1935.
- 7044 sayılı Aslında Vakıf Olan Tarihi ve Mimari Kıymeti Haiz Eski Eserlerin Vakıflar Umum Müdürlüğüne Devrine Dair Kanun, Resmî Gazete, 4 Temmuz 1957.
- 7044 sayılı Kanunun Uygulanma Şeklini Gösteren Tüzük, Resmî Gazete, 4 Şubat 1964.
- 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu, Resmî Gazete, 28 Temmuz 1983.
- 2886 sayılı Devlet İhale Kanunu, Resmî Gazete, 8 Eylül 1983.
- Tarihi ve Bedii Değeri Olan Taşınmaz Malların Kiraya Verilmesi Hakkında Yönetmelik, Resmî Gazete, 17 Şubat 1984.
- Özel Hukuka Tabi Gerçek ve Tüzel Kişilerin Mülkiyetinde Bulunan Korunması Gerekli Taşınmaz Kültür Varlıklarının Onarımına Katkı Fonu Yönetmeliği, Resmî Gazete, 29 Kasım 1985.
- Tasarrufu Kısıtlanan Bina, Arsa ve Arazi Hakkında Yönetmelik, Resmî Gazete, 10 Mart 1986.
- Korunması Gerekli Taşınmaz Kültür ve Tabiat Varlıklarının Tespit ve Tescili Hakkında Yönetmelik, Resmî Gazete, 6 Ağustos 1987.

Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu ile Koruma Kurulları Yönetmeliği, Resmî Gazete, 27 Temmuz 1989.

Kesin İnşaat Yasağı Getirilen Korunması Gerekli Taşınmaz Kültür ve Tabiat Varlıklarının Bulunduğu Sit Alanlarındaki Taşınmaz Malların Hazineye Ait Taşınmaz Mallarla Değiştirilmesi Hakkında Yönetmelik, Resmî Gazete, 9 Mart 1990.

Taşınmaz Kültür ve Tabiat Varlıklarının Bakım, Onarım, Restorasyon, Değerlendirme, Muhafaza ve Nakil İşleri ile Bu Maksatla Hazırlanacak Projelerin Yapılması ve Arkeolojik Kazılarda Kullanılacak Aletlerin Alımı Hakkında Yönetmelik, Resmî Gazete, 23 Aralık 1993.

5225 sayılı Kültür Yatırımları ve Girişimlerini Teşvik Kanunu, Resmî Gazete, 2 Mayıs 2004.

5226 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu ile Çeşitli Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun, Resmî Gazete, 10 Mayıs 2004.

5366 sayılı Yıpranan Tarihi ve Kültürel Taşınmaz Varlıkların Yenilenerek Korunması ve Yaşatılarak Kullanılması Hakkında Kanun, Resmî Gazete, 17 Haziran 2005.

5737 sayılı Vakıflar Kanunu, Resmî Gazete, 10 Mayıs 2008.

Vakıf Kültür Varlıklarının Restorasyon veya Onarım Karşılığı Kiraya Verilmesi İşlemlerinin Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik, Resmî Gazete, 27 Temmuz 2008.

Vakıflar Genel Müdürlüğü, Faaliyet Raporları (2008–2023).

Vakıflar Genel Müdürlüğü, Restorasyon veya Onarım Karşılığı Kiralama.
<https://www.vgm.gov.tr/faaliyetler/yatirimlar/restorasyon-veya-onarim-karsiligi-kiralama> (Erişim tarihi: 8 Aralık 2024).

TOPLU TAŞIMA ARAÇLARINDA BULUNAN GENEL GÜVENLİK SİSTEMLERİNDE UYARI İŞARETLERİNİN REGÜLASYON KAPSAMINDA ARAÇLARDA UYGULANMASI

Ar-Ge Homologasyon ve Test Mühendisi, -Berhan Can DONAT

Ulaşım İç ve Dış Ticaret A.Ş., berhan.donat@ulasim-as.com , 0009-0008-4662-0770

Ar-Ge Elektrik Yazılım Mühendisi, Mehmet Kuş

Ulaşım İç ve Dış Ticaret A.Ş., mehmet.kus@ulasim-as.com , 0009-0009-9174-792X

ÖZET

Ulaşım, insanlık tarihinin ilk zamanlarından itibaren günümüze kadar en temel ihtiyaçlardan birisi olmuştur. Gelişen dünyada son yıllarda nüfusun hızlı artışına paralel trafik yoğunluğu da artmaktadır. Bu durum kaza oranlarında gittikçe artışı beraberinde getirmektedir. Araçların maksimum güvenliğe sahip olması, tehlikeli ve kritik anlarda sürücüye maksimum destek sağlayacak sistemlerin bulundurulması gerekmektedir. Bu amaçla araçlara Genel Güvenlik Yönetmeliği (GSR) adı altında araçlara uygulanan güvenlik sistemleri mevcuttur.

Güvenlik sistemleri araçlara, belirlenen regülasyon maddeleri kapsamında uygulanmaktadır. Güvenlik sistemlerinin araçlara uygulanması sırasında uyulması gereken regülasyon maddeleri, sistemlerin güvenli ve etkin çalışmasını sağlamayı amaçlar. Bu regülasyonlar, sistemlerin doğruluğu, sürücüyle etkileşim biçimleri, sensör ve kamera konumlandırmaları gibi birçok konuda özel gereklilikleri içerir. Regülasyonlara uyum, sistemlerin güvenlik ve işlevsellik açısından etkin çalışmasını sağlar. Üreticiler, her bir sistem için gereken bu adımları dikkatlice planlayarak ve uygulayarak güvenli sürüş deneyimini en üst seviyeye çıkarmalıdır.

Güvenlik sistemlerinin güvenilir şekilde çalışabilmesi ve uluslararası regülasyonlarla uyumlu hale gelebilmesi için belirli standart ve uygulama gereklilikleri vardır. Standartlar, sistemlerin donanım ve yazılım özelliklerinden sürücü ile etkileşimine kadar geniş bir yelpazeyi kapsar. Bu çalışmada güvenlik sistemlerinin regülasyon kapsamında nasıl uygulandığı, uygulama esnasında nelere dikkat edilmesi gerektiği ile ilgili bilgilere yer verilmiştir.

Güvenlik sistemleri uygulanırken dikkat edilmesi ve uyulması gereken durumlar mevcuttur. Araç üzerine sensörler ve kameralar doğru yerleştirilmeli ve kalibre edilmelidir. Sürücüye açık ve anlaşılır uyarılar sağlanmalı. Sistemlerin hangi koşullarda devreye gireceği ve hangi durumlarda devre dışı kalacağı açıkça tanımlanmalıdır. Sürücünün tam kontrolüne izin vermeli ve sürücü müdahalesini kolaylaştırmalıdır. Olası arıza veya beklenmedik durumlarda güvenlik önlemleri alınmalıdır. Güvenlik sistemleri her ülke veya bölgedeki yasal uyum gerekliliklerini karşılamalı.

Anahtar Kelimeler: (Genel Güvenlik Yönetmenliği) GSR, Regülasyon, sürüş ve yol güvenliği.

1. GİRİŞ

Her yıl yol kazalarında gözle görülür bir artış olduğu istatistik kuruları tarafında açıklanıyor, TÜİK verilerinde 2023 yılında 235 bin 71 adet ölümlü yaralanma olduğu bildirilmiş. Trafik güvenli konusunda en uygun önlemin alınacak kararlar konusunda inisiyatifin sürücülerden bir miktar alınması ve sürücünün daha çok elektronik uyarı ile kontrolüne destek olunması hakkında çalışmaların yanı sıra uygulamalar yapılmaya başlandı.

Kazaların yüzde %86,8' gibi yüksek bir kısmının sürücü kusurlarından kaynaklandığı bildiriliyor. Sürücülerin şerit değiştirirken ya da dur kalk trafik durumlarında yaptıkları hatalar ile trafik güvenliğini tehlikeye attıkları ortada ve bu bildiride sürücülerin hatalarını azaltmak konusunda çalışmalar üzerinde durulmaktadır. Sürücülerin dikkatsizliği ve riskler konusunda yeterince uyarılmamaları kaza risklerini artırıyor. Bunun önüne geçmek için sürücüyü alarma geçirmek ve bunu otomotiv endüstrisinin ortak bir parçası haline getirmek için yeni teknolojilere yönelik ilerlemelere ve adaptasyona yönelik tam bir ihtiyaç ortaya çıkıyor(Sivakumar et al., 2016). Araç içi sistemlerin neredeyse %70'ini elektronik donanımlar oluşturmaktadır(TOPUZ, 2021).Modern otomobiller söz konusu olduğunda elektronik sistemler vasıtasıyla yakıt tasarrufu, sürüş güvenliği, konfor standartları ve genel trafik güvenliği kapsamında sensör ve mikroişlemciler vasıtasıyla gelişim gösteriyor. Bu tür elektronik cihazlar Elektrik Kontrol Üniteleri (ECU'lar) olarak adlandırılır ve çoğunlukla sürücüye yardımcı olmak ve emniyet ve güvenlik için karmaşık ve kritik kararlar almak için kullanılır(Rodelgo-Lacruz,2007). Bu durumlar doğrultusunda sürüş güvenliğini artırılması ve sürücünün risklere karşı alarma geçirilebilmesi adına farklı sistemler ve bu sistemleri standardize etmek adına regülasyonlar ve mevzuatlar da gün yüzüne çıkmaya başladı. Özellikle “Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu” aldıkları kararlar neticesinde regülasyon yoluyla GSR2 sistemlerini araçlarda zorunlu hale getirmeye başladı. Bu regülasyonlar bahsi geçen sistemlerin daha detaylı açıklamaları yanı sıra sahip olması gereken özelliklere de eğilmiş oldu. Ölümlü kazaların %60'ı şerit değiştirirken sürücülerin ihmalinden dolayı meydana gelmektedir. Her yıl şerit ihmal nedeniyle 5,2 milyon ölüm meydana geliyor. Aynaya doğru bakmayı unutmak, 600 milyar dolarlık 'kaçınılmaz' devasa' bir tıbbi harcamaya yol açar.(Naik, 2020). Araçlarda aşırı hız, şerit takibinde sürücü hataları ve kör nokta kontrolleri gibi konularda şoförlerin yeterli hassasiyet göstermedi durumların neticesinde trafikte risk artıyor.

2. GSR KAPSAMINDA KULLANILAN SİSTEMLER

2.1. General Safet Regulation (GSR)




General Safety Regulation (GSR), Avrupa Birliği'nde araç güvenliğini artırmak amacıyla geliştirilen ve çeşitli güvenlik sistemlerini zorunlu hale getiren bir düzenlemedir. GSR araçların tasarımında ve üretiminde kullanılacak malzemelerin, bileşenlerin ve sistemlerin belirli standartlara uygun olmasını gerektirmektedir. Bu standartlar, araçların çarpışma dayanıklılığı, yangın güvenliği, fren sistemleri, emniyet kemeri kullanımı, hava yastığı sistemleri ve diğer güvenlik önlemlerini içermektedir(Çalışkan, 2024).

GSR kapsamındaki başlıca araç güvenlik sistemleri şunlardır: BSIS/MOIS (Blind Spot Information System/Moving Off Information System), PAEBS (Pedestrian Advanced

Emergency Braking System), LDWS (Lane Departure Warning System), HBA (High Beam Assist), ISA (Intelligent Speed Assist), DDAW (Driver Drowsiness and Attention Warning) TPMS (Tyre Pressure Monitoring System), sistemleri mevcuttur.

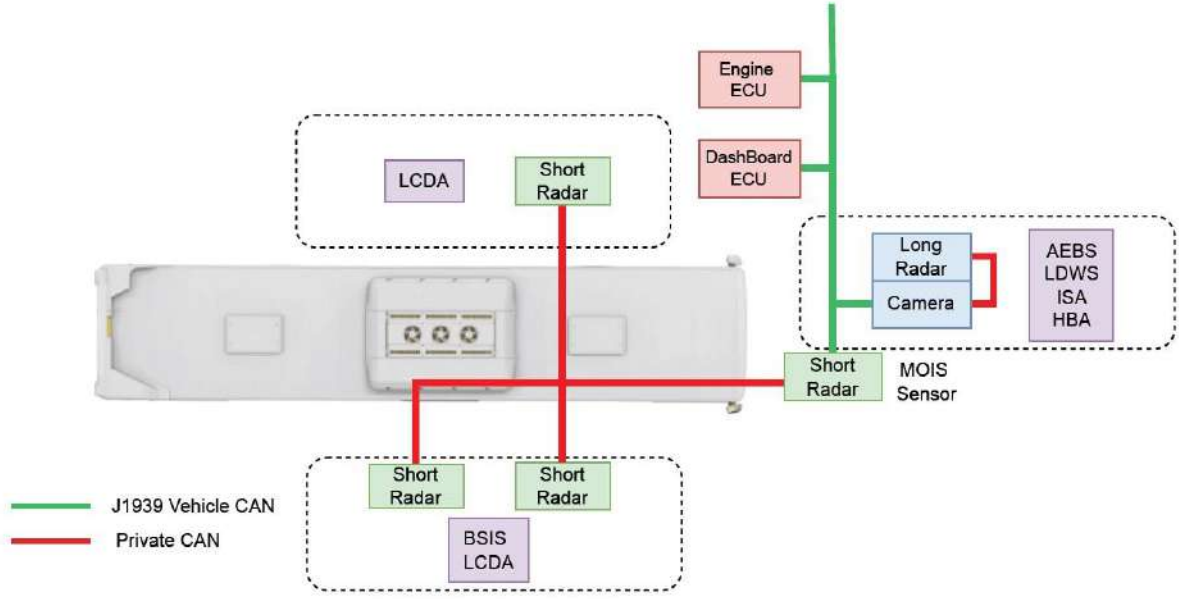
2.2. ADAS Sistemlerinde Kullanılan Komponentler ve Genel Mimari Şeması

ADAS (Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri), sürüş güvenliği ve konforunu artırmak için çok çeşitli donanım ve yazılım bileşenleri kullanır. Bu sistemlerde kullanılan bileşenler (komponentler), sensörlerden kontrol ünitelerine, kadar farklı alanlara yayılmıştır. Sensörler ADAS sistemlerinde çevresel verileri algılar ve işler. Farklı sensörlerden gelen verileri işlemek ve karar vermek için ECU'lar kullanılır. Sistem özelliklerinin çalışması için kullanılan yazılım ve algoritmalar mevcuttur. Bu algolaritmalarmın arasındaki veri iletişiminden sorumlu bir haberleşme sistemi kullanılır. Son olarak sürücüyü bilgilendiren ve sistemle etkileşim kurmasını sağlayan bileşenler kullanılır.

System	Dedection Area	Fonksiyon	Donanım
Front System		AEBS(Advanced Emergency Braking)	1 Main Camera 1 Long Range Radar Sensor
		LDWS(Lane Departure Warning System)	
		ISA(Intelligent Speed Assist)	
		MOIS(Moving-Off Information System)	1 Short Range Radar sensor
Side Sytem(Passenger Side)		BSIS(Blind Spot Information System) (LCDA)Lane Change Decision Aid	Short Range Radar sens
Side Sytem(Driver Side)		(LCDA)Lane Change Decision Aid	

Görsel 1. Kullanılan Komponentler

ADAS (Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri) mimarisi, çeşitli donanım ve yazılım bileşenlerinin bir araya gelmesiyle oluşan kompleks bir yapıdır. ADAS sistemleri, çevredeki durumu algılayarak veri toplayan çeşitli sensörlerle çalışır. Daha sonra sensörlerden gelen veriler işlenir ve analiz edilir. İşlenen verilere göre aracın nasıl tepki vereceğini belirleyen algoritmalar hazırlanır. En sonunda ise sistemin kararları sürücüyü veya araç kontrol sistemine iletir.



Görsel 2. Mimari Şema

2.2.1. BSIS/MOIS (Blind Spot Information/Moving Off Information)















Kör noktalar, her yıl önemli sayıda kazaya neden olan günlük sürüşün baş belasıdır (IEEE Staff, 2010). Sağa-sola dönen kamyonlar ile bisikletliler arasında, genellikle düşük sürüş hızlarında veya dururken meydana gelen çarpışmaları içeren dönüş manevraları, genellikle yayalar ve bisikletliler için ciddi sonuçlar doğurur. Bu nedenle bir bisikletin aracın yolcu tarafında kritik bir alana girmesi ve aracın bisiklete doğru bir dönüş başlatacak olması durumunda bir bilgi sinyalinin etkinleştirilmesi gerekir. Bu bilgilendirici yardım sinyali gösterge paneli yardımıyla sürücüyü iletilir. Burada devreye BSIS/MOIS sistemi girmiş olur. Böylelikle aracın kör noktalarındaki yaya ve bisikletlilerin varlığı sürücüyü aktarılmıştır olur.

2.2.1.1. Regülasyon Gereklilikleri

BSIS, araç seyir halindeyken kör noktada bulunan ya da yaklaşan dinamik cisimleri algılar. Sistem, çarpışma riski durumunda sürücüyü hem gündüz hem de gece bilgi sinyalleriyle kademeli olarak uyarır. Bu sinyaller, hareketli cisimlerin türüne ve yapısına göre değerlendirilerek yaya ve trafik güvenliğini sağlar. Bilgi sinyalleri, gündüz ve gece ayırt edilebilir, sarı renkli, sürücünün görüş alanında anlaşılır ve uygun parlaklıkta olmalıdır. Uyarı sinyalleri, bilgi sinyalinden farklı olup çarpışma riski algılandığında hızla devreye girer ve aynı şekilde gündüz ve gece ayırt edilebilir olmalıdır. Sistem, arıza durumunda sarı bir optik sinyal ile uyarı verir. Bu sinyal diğerlerinden farklı olmalı, sistem devre dışı olduğunda sürücüyü bilgilendirmelidir. Araç kontrol anahtarı deaktifken sistem devreye girmezse, arıza sinyali aktifleşir ve anlaşılır şekilde sürücüyü iletilir. BSIS'in uyarı sinyalleri, onay testleri ve prosedürlere uygunluk açısından teknik servis desteğiyle incelenir ve değerlendirilir.

Sürücü Gösterge İşaretleri

BSIS/MOIS sistemi için sürücüyü uyararak adına görseldeki uyarı işaretleri kullanılabilir. Görsel 3'te regülasyon gerekliliklerini karşılayacak şekilde tasarımı yapıp araca uygulanması yapılan görsel uyarı işaretleri mevcuttur.

Uyarı Sinyal Seviyeleri	Sol Uyarı	Sağ Uyarı	Ön Uyarı	Sağ-Sol Uyarı	Sol-Ön Uyarı	Sağ-Ön Uyarı	Sağ-Sol-Ön Uyarı
Uyarı Seviyesi 1 (WL1)							
Uyarı Seviyesi 3 (WL3)							
Uyarı Seviyesi 5 (WL5)							
Diğer Sinyaller	Uyarı İşaretleri						
ERROR							
Sürücü Tarafından Sistemin İptal Edilmesi	BSIS MOIS OFF						

Görsel 3. BSIS/MOIS Uyarı İşaretleri

2.2.2. PAEBS (Pedestrian Advanced Emergency Braking System)

2.

Bu sistem, çarpışma tehlikesi algıladığında sürücünün müdahalesine gerek kalmadan fren yaparak çarpışma riskini azaltır. PAEBS, sensörler ile öndeki araç, yaya veya engelleri algılar ve frenleme yapar. Sensörler, diğer nesnelerin hızını ve yakınlığını sürekli izler ve çarpışmaya neden olabilecek durumları tespit eder. Çarpışma riski yüksekse, sistem bir kazayı önlemek için frenleri otomatik olarak etkinleştirecektir (Papis & Matyjewski, 2017). PAEBS, kameralar aracılığıyla, yayaları veya bisikletlileri tanır ve bu nesnelerin hızına göre otomatik frenleme yapar. Bu sistemlerin bir kısmı, sensörleri diğer nesnelerin yakınlığını izleyen ve çarpışmaya neden olabilecek durumları tespit eden Gelişmiş Acil Durum Fren Sistemleridir ("AEBS").






2.2.2.1. Regülasyon Gereklilikleri

AEBS, çarpışma riski durumunda sürücüyü uyarır ve gerekirse frenleme yapar. Arıza durumunda, sinyal gecikmeden yanmalı ve sistemin kendi kendine kontrolleri kısa aralıklarla gerçekleşmelidir. Sistem, 10 km/s hızda 15 saniye içinde kalibre edilmezse, sürücüye bilgi verilmelidir ve bu durum kalibrasyon tamamlanana kadar devam eder. AEBS manuel devre dışı bırakılabiliyorsa, bu durum uygun bir uyarı ile belirtilmelidir. Sensör körlüğü veya yanlış hizalanma gibi arızalarda da arıza sinyali aktif olmalıdır. Çarpışma riski, yaya gibi bir engelle 5 km/s hızda tespit edildiğinde, frenleme başlamadan önce sürücüye çarpışma uyarısı

verilmelidir. Risk veya çarpışmayı önleyici koşullar ortadan kalkarsa, uyarı ve frenleme iptal edilebilir.

2.2.2.2. Sürücü Gösterge İşaretleri

PAEBS sistemi için sürücüyü uarmak adına görseldeki uyarı işaretleri kullanılabilir. Görsel 4’te regülasyon gerekliliklerini karşılayacak şekilde tasarımı yapıp araca uygulanması yapılan görsel uyarı işaretleri mevcuttur.

Uyarı Sinyal Seviyeleri	Uyarı İşareti	Görsel Uyarı İşareti Açıklama	Sesli Uyarı İşareti Açıklama
Çarpışma Uyarısı Aktif		Bu sinyal aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda 2 Hz ile yanıp sönmektedir.	Bu sinyal aktif olduğunda 2 Hz aralığında uyarı sesi gelmektedir.
Frenleme ile Çarpışma Uyarısı		Bu sinyal aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda 5 Hz ile yanıp sönmektedir.	Bu sinyal aktif olduğunda 5 Hz aralığında uyarı sesi gelmektedir.
Acil Fren Aktif		Bu sinyal aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda 10 Hz ile yanıp sönmektedir.	Bu sinyal aktif olduğunda 5 Hz aralığında uyarı sesi gelmektedir.
Sürücü Tarafından Sistemin İptal Edilmesi		Sistem sürücü tarafından iptal edildiği zaman belirtilen gösterge işareti ekranda aktif olmaktadır.	
ERROR		Bu sinyal aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda sabit bir şekilde yanmaktadır	

Görsel 4. PAEBS Uyarı İşaretleri

2.2.3. LDWS (Lane Departure Warning System)

3.

LDWS (Şerit takip yardımcısı), aracın şerit içinde kalmasını sağlamak için yol çizgilerini izler. Araç belirlenen işaretleme çizgisine yaklaşırsa ve sürüş şeridinden çıkma olasılığı yüksekse, direksiyon simidinin titreşimi yoluyla sürücü uyarılabilir (Chen et al., 2020). Bu sistem, kamera teknolojisi sayesinde yol şeritlerini algılar ve aracın yanlışlıkla şerit dışına çıkması durumunda müdahale eder. Aracın ön kamerası, yol çizgilerini sürekli olarak tarar ve yolun sınırlarını tanır. Araç şerit dışına çıkmaya başladığında sürücüyü görsel ve işitsel uyarılarla bilgilendirir. Gelişmiş sistemler, araç şerit dışına çıkmaya devam ederse hafif bir direksiyon kuvveti uygulayarak aracı tekrar şeride çeker. Yolun eğimi veya dönüşleri dikkate alarak aracın şeridin merkezinde kalmasını sağlar. Böylece, yol şartlarına göre en uygun pozisyon korunur.







2.2.3.1. Regülasyon Gereklilikleri

Sistem araç şerit ihlali yaptığı optik uyarı yanı sıra akustik veya dokunsal olarak uyarı vermelidir. Sadece tek tip uyarı ile şerit ihlalinin yönü sürücüye aktarılabilir. Arıza durumu söz konusu olduğunda sarı renkli anlaşılır bir uyarı sinyali ekranda belirmesi gerekir. Optik uyarı araç çalışır konuma geldiği taktirde aktif olmalıdır. Aynı anda farklı uyarılar varsa dönüşümlü olarak uyarı sinyali gözükmelidir. Uyarı sinyalleri gece gündüz fark etmeksizin görünür

olmalıdır. Sitem geçici olarak devre dışı bırakılırsa veya kötü hava şartları, kir gibi nedenler yüzünden arıza olursa bu sürücüye aktarılmalıdır(R130e, 2013).

4. 2.2.3.2. Sürücü Gösterge İşaretleri

LDWS sistemi için sürücüyü uyarmak adına görseldeki uyarı işaretleri kullanılabilir. Görsel 5’te regülasyon gerekliliklerini karşılayacak şekilde tasarımı yapıp araca uygulanması yapılan görsel uyarı işaretleri mevcuttur.

Uyarı Sinyal Seviyeleri	Uyarı İşareti	Görsel Uyarı İşareti Açıklama	Sesli Uyarı İşareti Açıklama
Şeritten Ayrılma Sol Taraf		Bu sinyal aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda 2.5 Hz ile yanıp sönmektedir.	Bu sinyal aktif olduğunda 2.5 Hz aralığında uyarı sesi gelmektedir.
Şeritten Ayrılma Sağ Taraf		Bu sinyal aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda 2.5 Hz ile yanıp sönmektedir.	Bu sinyal aktif olduğunda 2.5 Hz aralığında uyarı sesi gelmektedir.
ERROR		Bu sinyal aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda sabit bir şekilde yanmaktadır	
Sürücü Tarafından Sistemin İptal Edilmesi		Sistem sürücü tarafından iptal edildiği zaman belirtilen gösterge işareti ekranda aktif olmaktadır.	
Hıza Bağlı Gösterge İşareti		Bu sinyal aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda sabit bir şekilde yanmaktadır.(Hız>60)	
Hıza Bağlı Gösterge İşareti		Bu sinyal aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda sabit bir şekilde yanmaktadır.(Hız<60)	

Görsel 5. LDWS Uyarı İşaretleri

2.2.4. HBA (High Beam Assist)

5.

High Beam Assist (HBA), gece sürüşlerinde diğer sürücülere rahatsız etmeden maksimum görüş mesafesini sağlamak için geliştirilmiş bir aydınlatma destek sistemidir. Otomatik uzun far asistanı olarak da bilinen bu sistem, uzun farların açılması ve kapatılması sürecini otomatikleştirerek sürücünün dikkatini dağıtmadan yola odaklanmasını sağlar. HBA sistemi, aracın ön tarafında yer alan bir dizi sensör ve genellikle ön camın arkasına yerleştirilmiş bir kamera kullanır. Bu kamera ve sensörler, yoldaki ışık koşullarını sürekli olarak analiz eder.

Sistem, yolda herhangi bir araç veya yoğun ışık kaynağı algılamadığında uzun farları otomatik olarak açar. Bu, sürücünün daha geniş bir görüş alanına sahip olmasını sağlar ve özellikle karanlık yollarda güvenliği artırır. Karşıdan gelen bir aracın farları veya önünüzde ilerleyen bir aracın arka lambaları algılandığında, sistem otomatik olarak kısa farlara geçer. Böylece, diğer sürücülerin gözlerinin kamaşması önlenmiş olur. HBA, şehir içi gibi iyi aydınlatılmış alanlarda da uzun farları kapalı tutar. Yeterli aydınlatma algılandığında kısa farlarda kalır, ancak karanlık bir yola geçildiğinde tekrar uzun farlara döner. Sistem, gece yolculuklarında sürekli olarak


çevreyi tarar. Hava koşulları, yolun durumu ve sürüş hızı gibi faktörlere göre en uygun far ayarını belirler.

2.2.4.1. Regülasyon Gereklilikleri

Otomatik uzun huzmeli far sistemi, aracın düşük ışık seviyelerinde uzun huzmeli farları otomatik olarak etkinleştirerek görüş mesafesinin düşmesini önler ve R48 kapsamında sürüş güvenliğini artıran yeniliklerden biridir. Bu sistem etkin olduğunda, sürücü ekranında bir uyarı gösterilmeli ve sistem kapanana kadar bu uyarı görünür kalmalıdır. Otomatik uzun huzmeli farlar, AFS (Adaptif Ön Aydınlatma) sistemi ile bağlantılıdır ve arıza durumunda yanıp sönmeyen, anlaşılır bir uyarı sinyali sağlanmalıdır. Arıza uyarısı geçici olarak iptal edilebilir ancak, araç kontrol anahtarı kapatılıp tekrar açıldığında uyarı sinyali geri gelmelidir. Adaptif uzun huzme etkin olduğunda, bu durum sürücüye görsel bir uyarı ile belirtilmeli ve uyarı, sistem çalıştığı sürece ekranda kalmalıdır(R048r12e, 2014).

2.2.4.2. Sürücü Gösterge İşaretleri

HBA sistemi için sürücüyü uyarmak adına görseldeki uyarı işaretleri kullanılabilir. Görsel 6'te regülasyon gerekliliklerini karşılayacak şekilde tasarımı yapıp araca uygulanması yapılan görsel uyarı işaretleri mevcuttur.

Uyarı Sinyal Seviyeleri	Uyarı İşareti	Görsel Uyarı İşareti Açıklama	Ek Açıklama
Uzun Far Önerisi		Bu sinyal aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda sabit bir şekilde yanmaktadır.	Bu sinyal aktif olduğunda sistem çalışmaya hazır anlamına gelmektedir.
ERROR		Bu sinyal aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda sabit bir şekilde yanmaktadır.	

Görsel 6. HBA Uyarı İşaretleri

2.2.5. ISA (Intelligent Speed Assist)

6.

Akıllı hız yardımı (ISA), sürücülere zorunlu hız sınırı hakkında geri bildirim sağlayarak hız davranışını azaltmayı amaçlayan bir tür gelişmiş sürücü destek sistemidir(De Vos et al., 2023).ISA, özellikle sürücünün hız sınırlarını ihlal etmesini engelleyerek trafik güvenliğini artırmayı amaçlar. Avrupa Birliği'nde birçok yeni araçta zorunlu hale getirilen bu sistem, sürücüye yoldaki hız sınırlarına uyum sağlamasında önemli bir destek sunar. ISA sistemi, Trafik işaretlerini tanımak için kamera tabanlı teknoloji kullanılabilir veya hız sınırlarını belirlemek için coğrafi konumla birlikte hız haritaları kullanılabilir(De Vos et al., 2023).

Trafik İşareti Tanıma Sistemi (Traffic Sign Recognition): Kameralar, yoldaki hız sınırı işaretlerini algılar ve hız limitini belirler. Algılanan hız limiti bilgisi araç içi ekranda gösterilir.

Navigasyon ve GPS Verileri: Navigasyon sisteminden ve haritalardan hız limit bilgileri alınır. Özellikle hız limiti levhalarının olmadığı yerlerde veya otoyol girişlerinde GPS verilerine dayanarak hız sınırı belirlenebilir.

2.2.5.1. Regülasyon Gereklilikleri

Hız limiti bilgi fonksiyonu, sürücünün görüş alanında ve günün her saatinde net bir şekilde görünür olmalıdır. Bilgilendirme sinyali, sürücünün tepkisini geciktirmeyecek şekilde belirgin olmalı ve görüş açısının dışında kalmamalıdır. Sürücü hız sınırını aştığında, SLIF ekranında uyarı sinyali yanıp sönerken dikkat çekmelidir. Bu uyarı, hız sınırının aşılmasından itibaren 1,5 saniye içinde ekranda görünmeli ve sürücüyü hızla bilgilendirmelidir. ISA sistemi bir arıza tespit ettiğinde, sürücüye sabit ve net bir uyarı sinyali ile bu durumu bildirmelidir. Sinyalin fark edilmeme ihtimali olmamalıdır, çünkü geri bildirim eksikliği trafik güvenliğini riske atabilir.

2.2.5.2. Sürücü Gösterge İşaretleri

ISA sistemi için sürücüyü uyarmak adına görseldeki uyarı işaretleri kullanılabilir. Görsel 7’te regülasyon gerekliliklerini karşılayacak şekilde tasarımı yapıp araca uygulanması yapılan görsel uyarı işaretleri mevcuttur.

Uyarı Sinyal Seviyeleri	Uyarı İşareti	Görsel Uyarı İşareti Açıklama	Sesli Uyarı İşareti Açıklama
Hız Limiti Uyarısı		Bu sinyal aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda sabit bir şekilde yanmaktadır.	Bu sinyal aktif olduğunda uyarı sesi gelmektedir.
Hız Limiti yok		Bu sinyal aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda sabit bir şekilde yanmaktadır.	
Sistem Devre Dışı		Bu sinyal aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda sabit bir şekilde yanmaktadır.	

Görsel 7. ISA Uyarı İşaretleri

2.2.6. DDAW (Driver Drowsiness and Attention Warning)

7.

Driver Drowsiness and Attention Detection (DDAW), sürücünün uykusu geldiğinde kazaları önleyen bir araç güvenlik teknolojisidir. Çeşitli araştırmalar, tüm trafik kazalarının yaklaşık %20'sinin, belirli yollarda %50'ye kadar yorgunlukla ilgili olduğunu göstermiştir. Sürücü yorgunluğu, çok sayıda araç kazasında önemli bir faktördür(Saini & Saini, 2014). Sistem sürücünün davranışlarını ve fiziksel durumunu izleyerek bir dikkatsizlik veya yorgunluk belirtisi tespit ettiğinde uyarı verir. Uzun yolculuklarda ve gece sürüşlerinde sürücünün dikkatini korumasına yardımcı olur ve kaza riskini azaltır. Kameralar, sürücünün yüz ifadesini, göz kırpması hızını, göz kapanıklık süresini ve bakış yönünü takip eder. Gözlerin sık sık kapanması veya bakış yönünün yoldan uzaklaşması yorgunluk veya dikkatsizlik belirtisi olarak değerlendirilir.

2.2.6.1. Regülasyon Gereklilikleri

DDAW sisteminin tüm uyarıları ISO 2575 standardına uygun olmalıdır. Bu sayede farklı araç ve sürücüler için alışma süreci gerekmeden uyarılar gündüz ve gece kolayca görülebilir olmalıdır. Regülasyon, gösterge ekranında kullanılan uyarı ikonlarının renk kontrastına dair kısıtlamalar getirir.

Kırmızı/yeşil, sarı/mavi, sarı/kırmızı veya kırmızı/eflatun gibi renk kombinasyonları kullanılmamalıdır. Bu gereklilik, ISO 15008:2017 standardına dayanır ve ikonların anlaşılabilirliğini artırmayı, renk karışıklıklarını önlemeyi hedefler. ISO 15008:2017, sürücüye sunulan görsel bilgilerin okunabilirliği ve dikkat dağıtma potansiyeli ile ilgilidir. Sistem, arıza tespit ettiğinde sürücüye belirgin ve sürekli bir görsel uyarı vermelidir. DDAW, sürücünün yorgunluk kaynaklı dikkat kaybını önlemeyi amaçladığından, sistemin çalışmaması ve bu durumun bildirilmemesi trafik güvenliğini riske atabilir.

2.2.6.2. Sürücü Gösterge İşaretleri

DDAW sistemi için sürücüyü uarmak adına görseldeki uyarı işaretleri kullanılabilir. Görsel 8’de regülasyon gerekliliklerini karşılayacak şekilde tasarımı yapıp araca uygulanması yapılan görsel uyarı işaretleri mevcuttur.

Uyarı Sinyal Seviyeleri	Uyarı İşareti	Görsel Uyarı İşareti Açıklama	Sesli Uyarı İşareti Açıklama
Uyuşukluk, Esneme ve Engel Uyarısı		Bu sinyaller aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda sabit ve 5 Hz aralığında yanmaktadır.	Bu sinyaller aktif olduğunda gelen uyarı sinyallerine bağlı olarak farklı uyarı sesleri gelmektedir.
ERROR	DDAW	Bu sinyal aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda sabit bir şekilde yanmaktadır.	

Görsel 8. DDAW Uyarı İşaretleri

2.2.7. TPMS (Tyre Pressure Monitoring System)

8.

Lastik Basıncı İzleme Sistemi, sadece lastiklerin herhangi birindeki hava basıncının belirli bir güvenlik seviyesinin altında olup olmadığını gösterir. TPMS, lastiğe takılan ve basınç, sıcaklık ve tekerlek hizalama değerlerini sürücü tarafından gözlemlenebilir şekilde araç içine yerleştirilen üniteye ileten bir elektronik cihaz ünitesine sahiptir (Abbi & Ramakrishnaiah, 2021). TPMS, basıncının optimal seviyede tutulmasını sağlamak için geliştirilmiştir. Bu sistem, lastiklerdeki düşük veya yüksek basıncı sürücüye bildirerek sürüş güvenliğini artırır, lastik ömrünü uzatır ve yakıt tasarrufu sağlar. Bu sistem, her lastiğin içine yerleştirilen bir basınç sensörü ile çalışır. Sensör, basınç seviyesini sürekli olarak ölçer ve verileri araç içindeki alıcıya gönderir. Basınç normal seviyenin altına veya üstüne çıktığında, sistem bir uyarı gönderir.

2.2.7.1. Regülasyon Gereklilikleri


TPMS uyarı işareti, lastik basıncı düşük olduğunda sürücüyü bilgilendirmeli ve uluslararası uygunluk için R121'e göre standardize edilmelidir. Uyarı işareti, aracın ateşleme anahtarı açıkken görünür olmalı ve bu sayede sürücü araca bindiğinde uyarıyı görebilmelidir. Lastik

basıncındaki düşüş, güvenli sürüşü tehlikeye atabileceğinden, bu durum sürücüye iletilmelidir. Görsel uyarı işareti, net ve belirgin olmalı; parlamadan veya sürücünün görüş açısının dışında kalmadan sürüş güvenliğini sağlamalıdır.

Arıza sinyali, lastik basıncı düşük uyarı sinyaliyle aynı olabilir; ancak, arıza uyarısı durumunda ateşleme açıldığında yanıp sönmeli ve ardından sürekli yanmalıdır. Aksi halde, uyarı işareti sürücüyü yanıltabilir(R141e, 2017).

2.2.7.2. Sürücü Gösterge İşaretleri

TPMS sistemi için sürücüyü uyarmak adına görseldeki uyarı işaretleri kullanılabilir. Görsel 9’de regülasyon gerekliliklerini karşılayacak şekilde tasarımı yapıp araca uygulanması yapılan görsel uyarı işaretleri mevcuttur.

Uyarı Sinyal Seviyeleri	Uyarı İşareti	Görsel Uyarı İşareti Açıklama	Ek Açıklama
FAULT		Bu sinyaller aktif olduğunda belirtilen gösterge işareti ekranda sabit ve 2 Hz aralığında yanmaktadır.	Bu sinyaller aktif olduğunda gelen uyarı sinyallerine bağlı olarak ekranda sabit ve aralıklı olarak uyarı işareti yanmaktadır

Görsel 9. TPMS Uyarı İşaretleri

2.2.8. Sürücü Gösterge Paneli

Sürücü gösterge paneli, bir aracın sürücüsüne uyarıları ve çeşitli bilgileri sunan bir kontrol mekanizmasıdır. Ekranın tasarımı ve özellikleri, aracın markası, modeli ve teknolojik seviyesine göre değişiklik gösterebilir.

2.2.8.1. Sürücü Gösterge Paneli

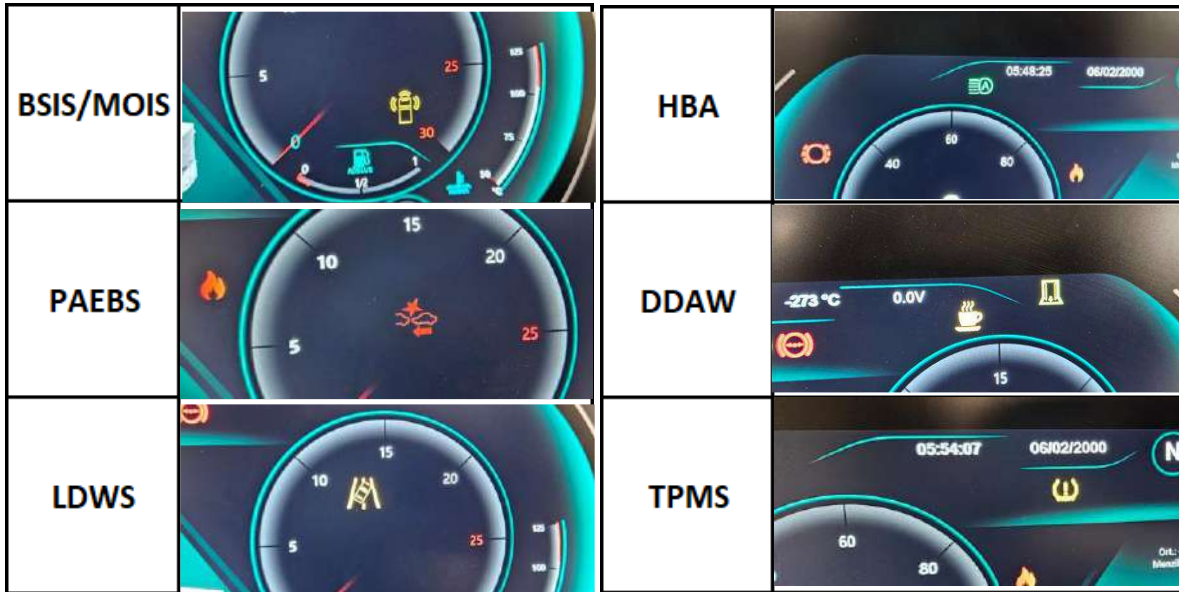
Gösterge işaretleri (tell-tales) ve semboller, gece ve gündüz sürücü tarafından net şekilde görünür olmalıdır. ISO 2575:2004 veya R121 regülasyonunda yer almayan işaretler için üretici, uluslararası tanınmış harf veya numaralar içeren kendi sembollerini kullanabilir. Her sembol, anlaşılır olmalı ve kafa karışıklığına yol açmadan durumu doğru şekilde temsil etmelidir. Ek işaretler gerektiğinde de aynı standartlar geçerlidir. Gösterge paneli, uygun aydınlatmaya sahip olmalı ve ışık saçma fonksiyonu park lambaları ile aktif edilmelidir. İşaretler, renk düzenine uygun olmalı ve arka plandan kolayca ayırt edilmelidir. R121 regülasyonunun 5.4.1 maddesine göre, belirlenen renk düzenleri uygulanmalıdır. Fren arızası, uzun far hüzmesi, yön sinyali veya emniyet kemeri göstergesi gibi uyarılar, ortak alan kullanımı durumunda geçici olarak kaldırılabilir. Gösterge paneli, bu kurallar dahilinde sürücüye etkili bilgi sağlamalıdır (R121r2e, 2015). Görsel 10’da güvenlik sistemlerinde kullanılan uyarı işaretlerinin sürücü gösterge paneli üzerinde ki konumları gösterilmiştir.



Görsel 10. Gösterge Paneli

3. TEST VE ANALİZ ÇALIŞMALARI

Test çalışmaları, sistemlerin güvenliğini, doğruluğunu ve performansını değerlendirmek için kapsamlı bir şekilde yürütülür. Bu testler hem laboratuvar ortamında hem de gerçek dünya koşullarında gerçekleştirilir. Simülasyon testleri, araç içi testler ve doğrulama testleri gibi farklı aşamalardan oluşur. GSR kapsamında kullanılan güvenlik sisteminin sürücüyü doğru bir şekilde yönlendirebilmesi için kullanılan gösterge işaretleri laboratuvar ortamında test edilmiştir. Testler prototip bir gösterge paneli üzerinde yapılmıştır. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan CAN hattı analizlerinin yapıldığı CAN analiz cihazı ile testler yapılmıştır. Testi yapılan sistemlerin test görselleri mevcuttur. Görsel 11’de BSIS/MOIS, PAEBS, LDWS, HBA, DDAW ve TPMS sistem uyarılarının gösterge paneli üzerindeki konumları mevcuttur.



Görsel 11. Uyarı İşaretleri

Görsel 12 ve 13’te yapılan regülasyon test çalışmalarının görselleri mevcuttur.



Görsel 12. Test Çalışmaları

ADAS test çalışmaları için genellikle özel test alanları ve simülasyon platformları kullanılır. Gerçek araçlar ve sürücülerle çeşitli senaryoları test etmek için kullanılır. HMI ve sürücü etkileşimi, sistemlerin sürücü ile nasıl iletişim kurduğunu ve sürücüye yardımcı olup olmadığını test etmek için kullanılır. Bu süreçler sonucunda ADAS sistemleri hem güvenli hem de etkili bir şekilde sürücülere destek sağlayabilir.



Görsel 13. Test Çalışmaları

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, toplu taşıma araçlarında kullanılan çeşitli güvenlik sistemlerinin Avrupa Birliği'nin Genel Güvenlik Yönetmeliği (GSR) kapsamındaki regülasyonlara uygun olarak uygulanması ele alınmıştır. Artan trafik yoğunluğu ve teknolojinin gelişmesiyle, güvenlik sistemlerinin kazaları önlemedeki rolü ön plana çıkmaktadır. Değerlendirilen güvenlik sistemleri arasında, kör nokta algılama (BSIS/MOIS), şerit takip (LDWS), uzun far yardımı (HBA), akıllı hız yardımı (ISA) ve lastik basıncı izleme (TPMS) gibi sistemler yer almaktadır. Her sisteminin görsel, sesli ve dokunsal uyarı gereklilikleri regülasyonlar kapsamında detaylı olarak belirlenmiştir. Araç güvenlik sistemlerinin doğru çalışıp çalışmadığını kontrol etmek amacıyla, CAN hattına bağlı laboratuvar ortamında çeşitli testler yapılmıştır. Güvenlik sistemlerinin sürekli ve doğru bir şekilde çalışması, kullanıcı güvenliği açısından kritik bir rol oynar.

Sonuç olarak, güvenlik sistemlerinin araçlarda etkin şekilde kullanılması, kazaların önlenmesi ve sürücü güvenliğinin artırılması açısından önem arz etmektedir. Regülasyonlara uyumlu sistemlerin doğru bir şekilde uygulanması hem araç üreticileri hem de yol güvenliği açısından gereklilikleri sağlamaktadır. Bu güvenlik sistemlerinin etkinliği, laboratuvar ortamında CAN hattı analiz cihazları ile yapılan testlerle doğrulanmıştır. Sistemlerin gösterge panelleri üzerindeki konumları test edilerek, her bir uyarının sürücü tarafından net bir şekilde görülebilir olması sağlanmıştır. Bu analizler, sistemlerin güvenilirliği ve işlevselliğini artırmak amacıyla yapılmış ve sürücü güvenliğine katkıda bulunduğu gösterilmiştir. Sonuçların amacı toplu taşıma araçlarında kullanılan güvenlik sistemlerinin kazaları önlemede önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Bu sistemlerin, doğru konumlandırılması, standartlara uygun çalışması ve sürücüyü zamanında bilgilendirmesi, kazaların önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, GSR kapsamındaki güvenlik sistemlerinin araçlarda etkin bir şekilde kullanılması gerektiği vurgulanmış olup hem üreticiler hem de güvenlik yönetmeliklerine uyum sağlamak isteyen kurumlar için rehber niteliğinde bilgiler sunulmuştur.

KAYNAKÇA

- 2021/1958, (EU). (2021). *Of the European Parliament and of the Council by laying down detailed rules concerning the specific test procedures and technical requirements for the type-approval of motor vehicles with regard to their intelligent speed assistance systems and for the type-approval of those systems as separate technical units and amending Annex II to that Regulation (Text with EEA relevance).*
- Abbi, A., & Ramakrishnaiah, T. (2021). Tyre Pressure Monitoring System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1042(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1042/1/012024>
- Çalışkan, O. (2024). *SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ TİCARİ ARAÇLARDA GENEL EMNİYET REGÜLASYONU KAPSAMINDA GELİŞMİŞ SÜRÜCÜ DESTEK SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ YÜKSEK LİSANS TEZİ* Oktay ÇALIŞKAN Enstitü Anabilim Dalı: MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ Ocak 2024.
- Chen, W., Wang, W., Wang, K., Li, Z., Li, H., & Liu, S. (2020). Lane departure warning systems and lane line detection methods based on image processing and semantic segmentation: A review. In *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* (Vol. 7, Issue 6, pp. 748–774). Chang'an University. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.10.002>
- De Vos, B., Cuenen, A., Ross, V., Dirix, H., Brijs, K., & Brijs, T. (2023). The Effectiveness of an Intelligent Speed Assistance System with Real-Time Speeding Interventions for Truck Drivers: A Belgian Simulator Study. *Sustainability (Switzerland)*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/su15065226>
- IEEE Staff, (2010). *2010 IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and Games*. I E E E.
- Naik, A., N., C. (2020). *2020 International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC): 10-12, September 2020*. IEEE.

Of the European Parliament and of the Council by laying down detailed rules concerning the specific test procedures and technical requirements for the type-approval of motor vehicles with regard to their driver drowsiness and attention warning systems and amending Annex II to that Regulation (Text with EEA relevance). (2021).

Papis, M., & Matyjewski, M. (2017). *The Archives of Automotive Engineering-Archiwum Motoryzacji*. 77(3), 97–109. <https://doi.org/10.14669/AM.VOL.77.ART7>

Rodelgo-Lacruz, M., Gil-Castiñeira, F. J., González-Castaño, F. J., Pousada-Carballo, J. M., Bueno-Delgado, M. V, Egea-López, E., Vales-Alonso, J., & García-Haro, J. (n.d.). *Base technologies for vehicular networking applications: review and case studies*.

Saini, V., & Saini, R. (2014). *Driver Drowsiness Detection System and Techniques: A Review*. www.ijcsit.com

Sivakumar, P., Vinod, B., Devi, R. S. S., & Divya, R. (2016). Deployment of Effective Testing Methodology in Automotive Software Development. *Circuits and Systems*, 07(09), 2568–2577. <https://doi.org/10.4236/cs.2016.79222>

TOPUZ, M. (2021). *KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ HİBRİT ARAÇLAR İÇİN CAN BUS HABERLEŞME BİRİMİ İLE ARAÇ KONTROL SİSTEMİ VE LINUX TABANLI GUI TASARIMI MURAT TOPUZ YÜKSEK LİSANS TEZİ Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Aralık-2021 KONYA Her Hakkı Saklıdır.*

R048r12e AHB. (2014).

R121r2e. (2015).

R130e. (2013).

R141e. (2017).

R151e. (2020).

R152e. (2020).

R159e. (2021).

İNTERNET KAYNAKLARI

<https://www.ulasim-as.com/> (E.T. 11.11.2024)

<https://truck.knorr-bremse.com/> (E.T. 11.11.2024)

<https://tr.wikipedia.org/> (E.T. 12.11.2024)

<https://data.tuik.gov.tr/> (E.T. 12.11.2024)

DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLER VE PRATİK UYGULAMALARI

Elektrik-Elektronik Mühendisi Fatih SAMAN

smnfh26@gmail.com- 0009-0005-9406-6856

Doç.Dr.Ayhan GÜN¹

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

ayhan.gun@dpu.edu.tr- 0000-0002-4223-2518

ÖZET

Bir doğru akım (*DC*) gerilimini arttırıp azaltmak için kullanılan devreler DC-DC dönüştürücü devreler olarak adlandırılır. Normalde DC gerilimi düşürmek için direnç ile gerilim bölücü devre, diyotlu kıyıcı devreler ya da gerilim regülatörleri kullanılabilir. Ancak bu devrelerde oluşan güç kayıplarından dolayı (*devre elemanları üzerinde oluşan kayıplardan dolayı*) bu devrelerin yerine daha verimli çalışan ve anahtarlama güç kaynakları olan Buck (*düşürücü*), Boost (*yükseltici*), Buck-Boost (*düşürücü-yükseltici*) dönüştürücüler ya da izoleli dönüştürücüler olan Forward ve Flyback (*izoleli düşürücü-yükseltici*) dönüştürücü devreler tasarlanmaktadır.

DC-DC dönüştürücü devrelerde DC gerilim dönüştürme işleminde anahtarlama elemanı olarak BJT ya da mosfet kullanılır. Mosfet, mosfet sürücüler (*Örnek:IR2104*) ile sürülür ve mosfeti tetiklemek için PWM sinyali kullanılır. PWM (*İşaret Genişlik Modülasyonu*), genliğini (*gerilim değeri*) istediğimiz bir şekilde ayarlayabildiğimiz kare dalga üretmek için kullanılan metottur. Bu metotta bir periyodun lojik-1 ve lojik-0 olduğu süreler ile çıkış gerilimi ayarlanır.

Bu makalede DC-DC dönüştürücü temel devre tasarımı, tasarım yapılırken seçilecek elemanlar, bu elemanların ve diğer parametrelerin ne olacağı ya da nasıl belirleneceği anlatılmış ve pratik uygulamaları örnekler ile anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler : DC-DC Dönüştürücüler, Buck, Boost, PWM

DC-DC CONVERTERS AND PRACTICAL APPLICATIONS

ABSTRACT

Circuits used to increase or decrease a direct current (*DC*) voltage are called DC-DC converter circuits. Normally, voltage divider circuits with resistors, diode chopper circuits or voltage regulators can be used to decrease DC voltage. However, due to the power losses in these

circuits (*due to losses occurring on circuit elements*), more efficient and switched power supplies such as Buck (*step-down*), Boost (*step-up*), Buck-Boost (*step-down-step-up*) converters or isolated converters such as Forward and Flyback (*isolated step-down-step-up*) converter circuits are designed instead of these circuits.

In DC-DC converter circuits, BJT or MOSFET is used as the switching element in the DC voltage conversion process. MOSFET is driven with MOSFET drivers (*Example: IR2104*) and PWM signal is used to trigger MOSFET. PWM (*Signal Width Modulation*) is the method used to produce square wave whose amplitude (*voltage value*) can be adjusted as desired. In this method, the output voltage is adjusted by adjusting the times when a period is logic-1 and logic-0.

In this article, the basic circuit design of the DC-DC converter, the elements to be selected during the design, what these elements and other parameters will be or how they will be determined are explained and practical applications are explained with examples.

Keywords : DC-DC Converters, Buck, Boost, PWM

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte üretilen elektronik sistemlerde farklı gerilim seviyelerine ya da farklı gerilim seviyelerine sahip sistemlerin birbirleri ile uyum için çalışması, fotovoltaiik panel vb. sistemlerin ürettiği enerjinin verimli şekilde depolanıp kullanılabilmesi gibi ihtiyaçlar oluşmuştur. Bu da, farklı güç ve gerilim seviyeleri üretecek güç kaynaklarına talebi ortaya çıkarmıştır.

Günümüzde elektronik sistemlerin DC çalışma gerilim seviyeleri genel itibari ile 3.3V, 5V, 12V ve 24V gerilim seviyelerindedir. DC sistemlerde gerilim düşürme işlemi her ne kadar direnç ile gerilim bölücü devresi oluşturarak ya da gerilim regülatörü ile yapılabiliyor olsa da bu yöntemler güç kaybına neden olduğu için verimsizdir. Ayrıca gerilim yükseltme işlemi yapılmak istenen durumlarda bu ve benzeri metotlar kullanılamaz. Bu yüzden verimi yüksek olacak şekilde gerilimi alçaltıp yükseltilebilecek sistem tasarımlarına gereksinim duyulmuştur. Bu gereksinim sonucunda da Buck, Boost, Buck-Boost, Flyback, Forward, LLC adı verilen sistemler tasarlanmıştır. Bu devreler düşük güçlü uygulamalarda kullanılır. Düşük güç uygulamalarında pasif elemanların azaltılarak, yüksek anahtarlama frekansına sahip yarı iletkenler kullanılmasının işlem hassasiyetinin yüksek olmasını sağladığı görülmüştür¹.

2. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

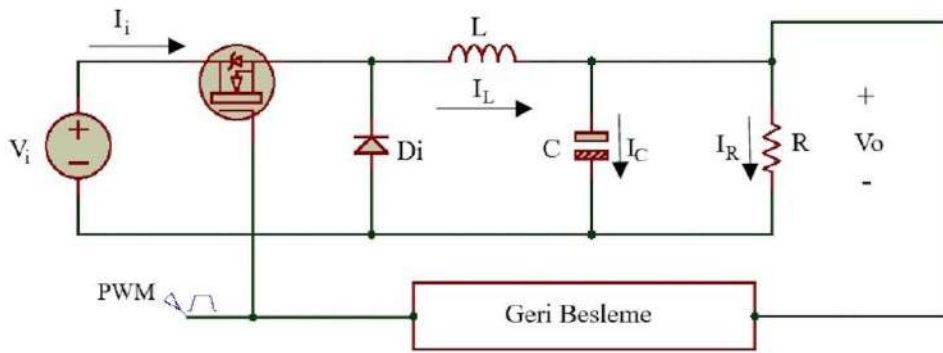
Bu makalede temel olarak Buck, Boost, Buck-Boost ve Flyback adı verilen sistemlerin temel tasarım parametreleri, bu sistemlerin çalışma şekilleri ve tasarımda kullanılacak denklemler ele alınmıştır. Tasarım şartlarına göre örnek devreler oluşturulmuş ve oluşturulan devreler

benzetim-simülasyon ortamında çalıştırılarak hesaplanan değerlerle simülasyon değerleri karşılaştırılmıştır.

2.1. DC Gerilim Düşürücü (*Buck*) Devresi Tasarım İlkeleri ve Denklemleri

DC-DC dönüştürücüler yaygın olarak güneş, rüzgâr ve yakıt hücreleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarında kullanılır. Bir Buck dönüştürücü devre modeli Görsel 1’de verilmiştir. Devrede çıkış gerilim değerini değiştirme işlemi PWM sinyalinin Duty Cycle değeri ile sağlanır (M. Veerachary. R, A., & C, B. (2024)).

Bu devrede giriş gerilimi çıkışta düşürülürken, giriş akımı çıkışta artacaktır.



Görsel 1. DA-DA düşürücü (*Buck Converter*) devre yapısı.

Görsel 1.’de verilen dönüştürücü devrelerdeki R direnci, devre çıkışına bağlanacak yükün direncidir. Yani yükü ifade eder.

Devrelerde diyot olarak schottky (*Örnek: MBR20100CT, SS14*) ya da Ultra Fast diyot kullanılması uygun olur. Çünkü diyotun iletimden kesime geçmesi için bir süre (*ters toparlanma süresi=trr*) beklemek gerekir. Bu süre kadar beklenmediği durumda diyot zorla kesime sokulmuş gibi olur ve bu şekilde uzun süre çalışma durumunda bozulmalar meydana gelecektir. Schottky diyotlarda ters toparlanma süresi yoktur. Bu sebeple anahtarlama devrelerinde diyot olarak bu diyotlar tercih edilirler. Ancak schottky diyotlarda belirli bir gerilime kadar dayanabilirler. Yüksek gerilim altında çalışma durumu var ise Ultra fast diyotlar kullanılır. Ayrıca seçilecek diyotun ters gerilim değeri, V_o (*çıkış gerilimi*) değerinden büyük olmalıdır.

Bu devrelerde kullanılacak elemanlar seçilirken elemanların dayanma akımlarının devre akımından büyük olarak seçilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Dönüştürücü devrelerde Kesintili Akım (*DCM*) Modu ve Sürekli Akım (*CCM*) Modu olarak iki farklı çalışma modu vardır. Bobin akımının (I_L) sıfır olmadığı durum sürekli akım (*sürekli çalışma*) modudur.

Devre tasarımı yapılırken aşağıdaki adımlar izlenir. Bu adımlar diğer dönüştürücüler için aynı olup sadece denklemler farklıdır.

¹<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775312003953>

Verilen denklemler kayıplar ihmal edilerek yani $P_{giriş} = P_{çıkış}$ varsayılarak ve sürekli çalışma moduna (*Continuous Current Mode=CCM*) göre elde edilen denklemlerdir. Gerçek hayatta bobin, mosfet, diyot ve kondansatör üzerinde kayıplar olacağı için bu kayıplar hesaba katılarak $P_{giriş} = P_{çıkış} + P_L + P_C + P_D$ şeklinde hesaplama yapmak gerekir. Elemanın üzerinde harcanan güç ise o elemanın iç direnci ile üzerinden geçen akımın karesi (*normal güç hesabı*) şeklinde hesaplanır. Örneğin bobinin iç direnci r_L 'dir. Buna göre $P_L = I_L^2 \cdot r_L$ 'dir.

Tasarım için ilk önce 20kHz üzerinde istediğimiz bir frekans değeri seçeriz (*Bu frekans değerinin bobin üzerinde de bir etkisi vardır. Ayrıca kullanılacak mosfetin anahtarlama hızı da burada etkilidir. En iyi anahtarlama frekansı ve elektromanyetik uyumluluk kuralları çerçevesinde genelde 60kHz ile 100kHz arası frekans değerleri kullanılır.*)

Daha sonra, kullanılacak giriş gerilimi, istenilen çıkış gerilimi, istenilen yük (*çıkış*) akımını, çıkış gerilim dalgalanma oranını belirlememiz ve yükün direnç değerini bilmemiz lazım. Bu parametrelere göre tasarım yapılır. Belirlediğimiz frekans değerine göre $T = 1 \div f$ ile periyot belirlenir ve ardından sırasıyla aşağıdaki hesaplamalar yapılır. Aşağıda Buck dönüştürücü tasarımı için kullanılan denklemler verilmiştir.

D (*duty cycle*) görev çevrimini ifade eder ve aşağıda verilen denklem (1) ile hesaplanır. (H. Bodur, 2010).

$$D = \frac{V_o}{V_i \cdot \eta} \quad (1)$$

Büyük bir duty cycle değeri verimliliği düşürür ve geçici tepki için engeller oluşturur (B. Axelrod, Y. Berkovich and A. Ioinovici).

Sistemin verimli çalışması için duty cycle değeri **0.1** ile **0.8** (*%10 ile %80*) arasında bir değer olmalıdır. Çıkış gerilimi Duty cycle ile ayarlanır. Bu değerın yükselmesi çıkış gerilimini artırır, düşmesi de çıkış gerilimini düşürür. Duty Cycle değeri mikrodenetleyici tarafında yazılımla ayarlanır(H. Bodur, 2010, A. Gün and A. Karamancioğlu).

V_o , çıkış gerilimidir (*R direnci üzerine düşen gerilim*).

$$I_o = I_R = \frac{V_o}{V_i \cdot \eta} \quad (2)$$

V_i , en büyük giriş gerilim değeridir.

η , verimdir. Verim genellikle %80-%90 (0.8-0.9) arası bir değer seçilerek işlem yapılabileceği gibi denklem (3) ile de hesaplanabilir(H. Bodur, 2010).

$$\eta = \frac{1}{1 + ((r_L \cdot R) \cdot (1 - D)^2)} = \frac{P_i}{P_o} \quad (3)$$

(Denklemden rL parametresi bobin iç direncidir.)

$$P_i = P_o \cdot \eta \quad P_i = V_i \cdot I_i \quad P_o = V_o \cdot I_R$$

Dönüştürücü devrelerde PI, PD, PID, sınır, bulanık veya diğer kontrolör türleri kullanılarak sistem verimliliği artırılabilir (T. Dragičević, X. Lu, J. C. Vasquez and J. M. Guerrero).

Bobin üzerinden geçen akıma (ortalama akım) I_L , kondansatör üzerinden geçen akıma I_C , çıkış akımı da (R direnci üzerinden akan akım ya da yük akımı) I_o olmak üzere

$$I_L = I_C + I_R \text{ dir.}$$

Devrede kondansatör ortalama akımı $I_C=0$ 'dır. Bu durumda $I_L = I_R$ olur. Yani I_L akımı aynı zamanda devrenin çıkış akımıdır. Buradan:

$$\text{Endüktans akımı} = I_L = I_R = \frac{V_o}{R} \quad (4)$$

Bobin akımı hesaplandıktan sonra ortalama bobin akımı denklem (5) ile hesaplanır ve ortalama bobin akımından da devrede kullanılması gereken bobinin minimum değeri denklem (8) ile hesaplanır. Denklem (5)'te verilen r_{LR} parametresi endüktans (bobin) akımının dalgalanma değeridir. Bu parametre **0.2** ile **0.4** arasında bir değer seçilerek ΔI_L hesaplanabilir⁵.

$$\Delta I_L = r_{LR} \cdot I_L = \frac{(V_i - V_o) \cdot D}{L \cdot f} = I_{Lmax} - I_{Lmin} \quad (5)$$

$$I_{Lmax} = I_L + (\Delta I_L \div 2) = V_o \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{1 - D}{2 \cdot f \cdot L} \right) \quad (6)$$

Burada hesaplanan I_{Lmax} akımı devrenin çıkışında alınacak akım değerini ifade eder.

Devrede kullanılacak bobinin dayanma akımı da denklem (6)'da hesaplanan I_{Lmax} değerinden en az 2 kat büyük seçilmelidir.

$$I_{Lmin} = I_L - (\Delta I_L \div 2) = V_o \cdot \left(\frac{1}{R} - \frac{1 - D}{2 \cdot f \cdot L} \right) \quad (7)$$

$I_{Lmin} > 0$ şartı, devrenin sürekli akım modunda çalışma şartıdır. $I_{Lmin} < 0$ olması durumu kesintili akım modunda çalışma anlamına gelir.

Devrede kullanılacak bobinin en küçük değeri denklem (8) ile hesaplanır ve hesaplanan bobin değeri devrenin sürekli akım (CCM) durumunda yani devrenin sürekli çalışması durumuna göre kullanılacak minimum bobin değeridir (H. Bodur, 2010).

$$L = \frac{(V_i - V_o) \cdot D}{f \cdot \Delta I_L} = \frac{(1 - D) \cdot R}{2 \cdot f} \quad (8)$$

Devre kararlılığı için, bulunan bu bobin değerinin en az 10 katı büyüklüğünde bir bobin seçilir ve bu seçilen yeni değere göre tekrar ΔI_L ve I_L değerleri hesaplanarak, son durumda seçilen bobine göre devre akımının ne olacağı görülür.

Devredeki diyotun ortalama akımı denklem (9)'da verilmiştir⁵.

$$I_F = I_{Lmax} \cdot (1 - D) \quad (9)$$

Diyotun ileri yön gerilimine V_F dersek diyot üzerinde harcanan güç:

$$P_D = I_F \cdot V_F \quad (10)$$

Devrede kullanılacak kondansatörün (*kutuplu kondansatör*) minimum değeri ile kondansatör akımının en yüksek tepe değeri denklem 12 ile hesaplanır:

$$C = \frac{1 - D}{8 \cdot L \cdot f^2 \cdot r_o} \quad (11)$$

$$I_{CRMS} = \Delta I_L \div (2 \cdot \sqrt{3}) \quad (12)$$

Kondansatörün değeri büyüdükçe çıkış gerilimindeki dalgalanma azalır. Bu da çıkışta sabit ve düzgün bir gerilim elde etmemizi sağlar. Çıkış gerilimindeki dalgalanmayı sönmüleyecek şekilde bir kondansatör seçimi yapılmalıdır. Seçilecek kondansatör değeri burada hesaplanan değerden daha büyük seçilir.

Denklem (11)'de verilen r_o parametresi çıkış gerilimi dalgalanma oranıdır. Pratikte **0.01** ile **0.05** arası bir değer seçilebilir ya da aşağıdaki denklemlerle hesaplanır (H. Bodur, 2010).

⁵How to Design Flyback Converter With LM3481 Boost Controller, Texas Instruments.

Çıkış gerilim dalgalanma oranı = $r_o = \Delta V_o \div V_o$

$$\Delta V_o = \frac{T \cdot \Delta I_L}{8 \cdot C} = r_o \cdot V_o \quad (13)$$

Seçilecek kondansatörün ESR (*eşdeğer direnç*) değeri en fazla: $r_c = \Delta V_o \div \Delta I_L$ olmalıdır. Devrede kullanılacak kondansatörün ESR değeri ve sıcaklıkla kapasite değişim oranı düşük olmalıdır (*örnek: X7R, X8R*). Çünkü DC ön gerilim ve sıcaklık nedeniyle kondansatör kapasitesinde düşüşler meydana gelir.

Kondansatör üzerine düşecek gerilim değeri çıkış gerilimi kadar olacağından kondansatör seçiminde kondansatör gerilimi çıkış gerilim değerinin en az 2 katı kadar olacak şekilde seçilir. Örneğin çıkış 24V olaksa çıkışta kullanılacak kondansatörün gerilim değeri 50V ya da üzeri seçilmelidir.

Devrenin giriş geriliminin AC sinyal olması durumunda girişte kullanılacak doğrultma kapasitesinin değerinin ne olacağı yaklaşık olarak denklem (14) ile hesaplanır.

$$C_{in} = \frac{(1 - D) \cdot I_o \cdot D}{r_{o_{in}} \cdot V_m \cdot f} \quad (14)$$

Denklemde f = anahtarlama frekansı, D = maksimum güçteki duty cycle değeri,

I_o = maksimum çıkış akımı, V_m = maksimum giriş gerilimidir (E. Koutroulis and K. Kalaitzakis).

Devrede anahtarlama elemanı olarak kullanılacak mosfet, giriş gerilimine dayanacak şekilde seçilmelidir.

Devre tasarımı yaparken mosfet anahtarlama işlemi için mosfet sürücü devresi kullanılır. Bu işlem için hazır Buck entegresi de kullanılabilir. (*Örnek: AP63300, LM5007MM, LM2596*). IGBT modülleri, büyük boyutları ve yüksek iç endüktansları nedeniyle yüksek yoğunluklu yüksek frekanslı uygulamalar için uygun değildir (M. N. Kheraluwala, et al.).

UYGULAMA 1: Giriş gerilimi (V_i) 24V, çıkış gerilimi (V_o) 5V, verim (η) 0.8, frekans 100kHz, r_o oranı 0.04 ve yük direnci 100Ω olan bir DC-DC dönüştürücü tasarım hesabı aşağıda verilmiştir.

$$D = \frac{V_o}{V_i \cdot \eta} = \frac{5}{24 \cdot 0.8} = 0.26 \quad (\%26)$$

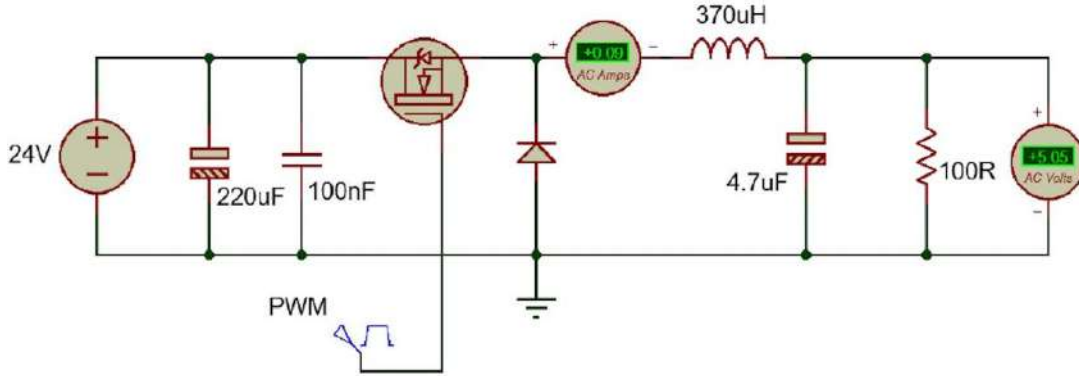
$$L = \frac{(1 - D) \cdot R}{2 \cdot f} = \frac{(1 - 0.26) \cdot 100}{2 \cdot 100000} = 370\mu H$$

$$C = \frac{1 - D}{8 \cdot L \cdot f^2 \cdot r_o} = \frac{1 - 0.26}{8 \cdot 370 \cdot 10^{-6} \cdot 100000^2 \cdot 0.04} = 0.625\mu F.$$

0.625uF olarak hesaplanan kondansatör değeri yerine 4.7uF değeri seçilmiştir.

Belirtilen elemanlarla tasarım yapıldığında çıkış geriliminin 4.56 volt olduğu görülmektedir. Vo değerini 4.5V kabul ederek IL değerini hesapladığımızda:

$$I_{Lmax} = V_o \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{1 - D}{2 \cdot f \cdot L} \right) = 4.5 \cdot \left(\frac{1}{100} + \frac{1 - 0.26}{2 \cdot 100000 \cdot 370 \cdot 10^{-6}} \right) = 0.09A \text{ bulunur.}$$



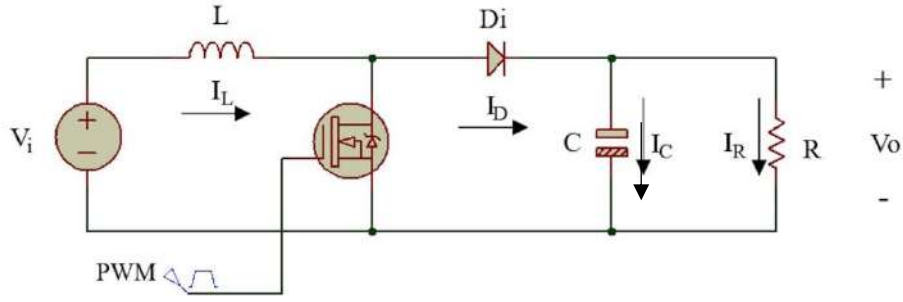
*** Kullanılan diyotun ters toparlanma süresi de çıkış gerilimini etkilemektedir.

Düşürücü ve yükseltici dönüştürücülere uygulanacak iki kapasitör ve iki-üç diyot (*C-anahtarlama*) veya iki indüktör ve iki-üç diyot (*L-anahtarlama*) ile oluşturulan basit anahtarlama yapısı ile devrenin manyetik alanda daha az enerjiye, indüktörlerin boyutunda ve maliyetinde tasarrufa ve anahtarlama elemanlarında daha az akım stresine, daha küçük iletim kayıplarına ulaşması sağlanabilir[12]. Girişte kullanılacak indüktörlü devrenin, düşük duty cycle oranlarında daha fazla kazanç sağladığı da yapılan testlerde görülmüştür (Marrapu, S. H. N., & Rathinadurai Louis, J. (2024)).

2.2. DC Gerilim Yükseltici (Boost) Devresi Tasarım İlkeleri ve Denklemleri

Bir Boost Dönüştürücü devre modeli Görsel 2’de verilmiştir. Devrede çıkış gerilim değerini değiştirme işlemi, Buck Dönüştürücü devresinde olduğu gibi PWM sinyalinin Duty Cycle değeri ile sağlanır.

Devredeki **R** direnci, devre çıkışına bağlanacak yükün direncidir. Yani yükü ifade eder.



Görsel 2. DA-DA yükseltici (*Boost Converter*) devre yapısı.

Bu devre yapısında mosfet iletimdeyken akım, bobin ile mosfet üzerinde döner ve bobin üzerinde enerji depolanır. Mosfet kesime girdiği zaman ise kaynak gerilimi ve bobin gerilimi toplanarak yük üzerine düşer.

Devre tasarım ilkeleri Buck dönüştürücü ile aynı olup denklemlerde farklılıklar vardır. Verilen denklemler kayıplar ihmal edilerek ve sürekli çalışma moduna (CCM) göre elde edilen denklemlerdir (H.Bodur,2010).

Devrede giriş akımı $I_i = I_L$ 'dir.

Devrenin duty cycle değeri:

$$D = 1 - \frac{V_i \cdot \eta}{V_o} \quad (15)$$

$$I_R = I_D = (1 - D) \cdot I_i = \frac{V_o}{R} \quad (16)$$

Verim:

$$\eta = \frac{1}{1 + (r_L \cdot R) \cdot (1 - D)^2} \quad (17)$$

$$\Delta I_L = r_{LR} \cdot I_L = \frac{V_i \cdot D}{L \cdot f} = I_{Lmax} - I_{Lmin} \quad (18)$$

$$L = \frac{R \cdot D \cdot (1 - D)^2}{2 \cdot f} = \frac{D \cdot V_i}{f \cdot \Delta I_L} \quad (19)$$

$$I_{Lmax} = I_{Lmax} + \left(\frac{\Delta I_L}{2}\right) = \frac{V_i}{(1-D)^2 \cdot R} + \frac{V_i \cdot D}{2 \cdot f \cdot L} \quad (20)$$

$$I_{Lmax} = I_{Lmax} - \left(\frac{\Delta I_L}{2}\right) = \frac{V_i}{(1-D)^2 \cdot R} - \frac{V_i \cdot D}{2 \cdot f \cdot L} \quad (21)$$

$$I_L = \frac{V_o \cdot I_o}{V_i} = \frac{V_i}{R \cdot (1-D)^2} = \frac{V_o^2}{V_i \cdot R} \quad (22)$$

Devrede kullanılacak elemanlar I_{Lmax} akımına dayanacak nitelikte seçilmelidir.

$$C = \frac{D}{R \cdot f \cdot r_o} \quad (23)$$

(*ro* değeri 0.01 ile 0.05 arası bir değer seçilebilir.)

$$r_o = \Delta V_o \div V_o \quad (24)$$

$$\Delta V_o = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C \cdot f} \quad (25)$$

Seçilecek kondansatörün ESR (*eşdeğer direnç*) değeri:

$$r_c = \frac{\Delta V_o}{I_{Lmax}} \quad (26)$$

Eğer giriş gerilimi istenilen iki gerilim değeri aralığında olacak şekilde bir tasarım yapılacaksa önce $\Delta I_L = r_{LR} \cdot I_L$ ile ΔI_L hesaplanır. Bu ΔI_L ve büyük olan V_i değerine göre de devrede kullanılacak bobin değeri hesaplanır.

Bobin değeri hesaplandıktan sonra bu bobin değerine göre ve küçük olan V_i değerine göre tekrar ΔI_L hesaplanır. Bu ΔI_L değeri ile de I_{Lmin} , I_{Lmax} akımları hesaplanır.

Devrede kullanılacak kondansatör değeri, küçük olan V_i değeri ile hesaplanacak olan D değeri kullanılarak hesaplanır.

UYGULAMA 2: Bu tasarımda aşağıda verilen değerleri sağlayacak bir Boost Dönüştürücü devresi yapılmış ve simülasyonda gösterilmiştir.

Giriş gerilimi (V_i) 5V, Verim (η) %80 (0.8), Çıkış gerilimi (V_o) 24V, Çıkış akımı (I_R) 3A,

Çıkış gerilim dalgalanma oranı 0.02 (r_o) olan $R=10\Omega$ 'luk yük için yükseltici devre tasarımı yapalım.

Frekans değeri 100kHz olsun.

Verilenlere göre duty cycle değerimiz:

$$D = 1 - \frac{V_i \cdot \eta}{V_o} = 0.8$$

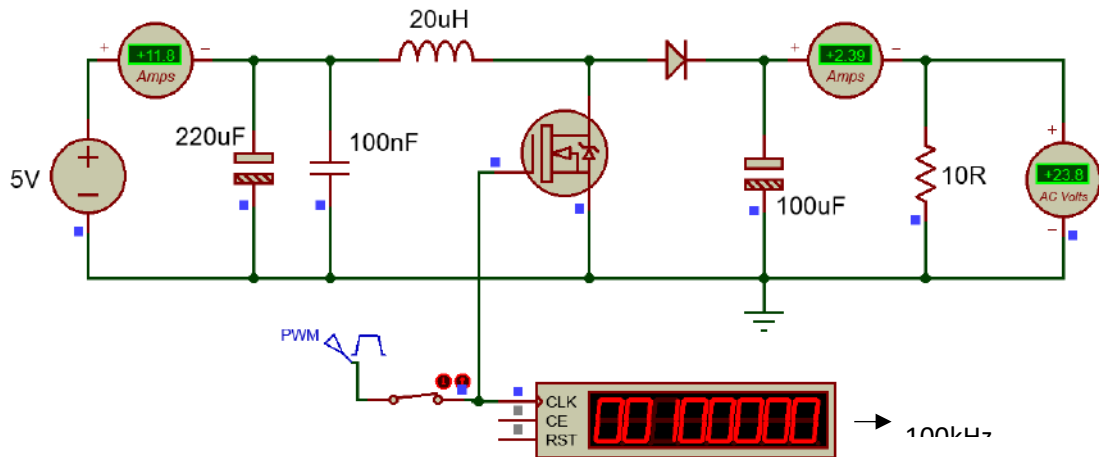
$$I_L = \frac{V_o^2}{V_i \cdot R} = 11.5A$$

$$L = \frac{R \cdot D \cdot (1 - D)^2}{2 \cdot f} = 1.6\mu H$$

$$C = \frac{D}{R \cdot f \cdot r_o} = 40\mu F$$

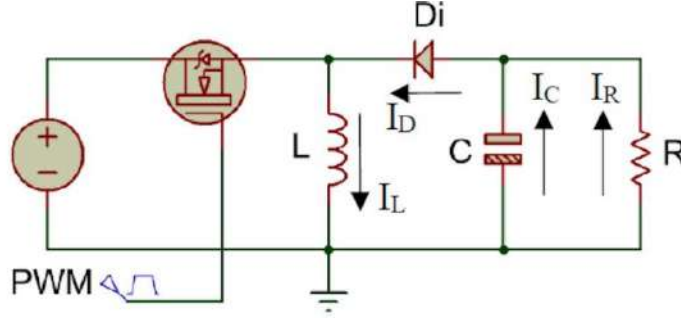
Bobin değeri $20\mu H$ ve kondansatör değeri de $100\mu F$ seçilebilir.

Hesaplanan eleman değerlerine göre devre simülasyonu yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



2.3. Düşürücü-Yükseltici (Buck-Boost) Devresi

Buck ve Boost yapının bir arada olduğu devreler Buck-Boost (*düşürücü-yükseltici*) dönüştürücü olarak adlandırılır. Buck-Boost dönüştürücü devre modeli Görsel 3'de verilmektedir.



Görsel 3. DA-DA düşürücü-yükseltici (*Buck-Boost Converter*) devre yapısı.

Bu bölümde verilen denklemler devrenin sürekli çalışma durumuna göre kullanılacak denklemlerdir. Tasarım Buck ve Boost ile verilen yöntemler ile aynıdır.

Bu devrede gerilim yükseltme ve alçaltma işlemi duty cycle (D) ile belirlenir. $D < 0.5$ olması durumunda düşürücü olarak, $D > 0.5$ durumunda yükseltici olarak çalışır (H. Bodur, 2010. M.H. Rashid, 2016, N. Manimaran, J. Baskaran, K. Padmanathan, G. Mahalakshmi, A. Gün and A. Karamancioğlu).

$$P_i = V_i \cdot I_i \quad (27)$$

$$P_{\zeta} = \frac{V_{\zeta}^2}{R} \quad (28)$$

$$V_o = \frac{V_i \cdot D}{1 - D} \quad (29)$$

$$I_L = \frac{D \cdot V_i}{R \cdot (1 - D)^2} = \frac{P_o}{D \cdot V_i} \quad (30)$$

$$\Delta I_L = \frac{D \cdot V_i}{L \cdot f} \quad (31)$$

$$I_{Lmin} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} \quad (32)$$

$$I_{Lmax} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} \quad (33)$$

$$L = \frac{R \cdot (1 - D)^2}{2 \cdot f} \quad (34)$$

$$C = \frac{D}{R \cdot f \cdot r_o} \quad (35)$$

Buck-boost topolojilerinde birim gerilim kazancını (*DMR*) arttırmak için anahtarlı kapasitör köprüsü tasarımları devreye eklenebilir. Anahtarlı kapasitör köprüsünün varlığı, bucking işlemi için görev oranı aralığını iyileştirirken, iki anahtarın varlığı çok modlu işlemleri gerçekleştirmek için serbestlik derecesi sunar (U. Dey and M. Veerachary).

Buraya kadar anlatılan izolesiz dönüştürücülerde temel tasarım parametreleri verilmiştir. Normal hayatta ise giriş ve çıkışta ki dalgalanmaları bastırmak, yüksek frekanslı anahtarlama ile oluşacak yüksek frekanslı gürültüyü sönmölemek için güç dönüştürme devresine elektromanyetik girişim (*EMI*) filtreleri eklemek te gerekir (M. H. Rashid). Böyle bir durumda temel tasarım devresi gürültü bastırma devreleri ile birlikte davranışı karmaşık olan daha yüksek mertebeden bir sistem haline gelecektir. Bu devrelerde girişe koyulacak bir endüktans giriş akım dalgalanmasını, kapasitör de giriş gerilim dalgalanmasını sönmöleyecektir.

2.4. İzoleli DC-DC dönüştürücü Flyback Devresi

İzoleli dönüştürücülerde devrede galvanik izoleli trafo (*smps trafo*) kullanılır. Bu trafo, şebeke ve çevre birimlerin gürültülerini engelleyerek dönüştürücü devrenin daha stabil çalışmasını sağlar. Flyback dönüştürücüler, en yaygın olarak elektronik kontrol kartlarındaki elemanların (*mikrodenetleyici, opamp vb.*) beslemesinde güç kaynağı olarak kullanılır.

Flyback dönüştürücüler izoleli dönüştürücüler olup yükseltici ve düşürücü olarak çalışırlar. Düşük güçlü (*150W'a kadar*) uygulamalarda anahtarlama güç kaynağı olarak kullanılır. Daha yüksek güçlü uygulamalar için Forward, Half-Bridge, Full-Bridge ve LLC dönüştürücüler kullanılır (D.W. Hart, 2011, M. H. Rashid).

Flyback dönüştürücüler için FSL137H, FAN6756, NCP1014, AN4137, UC3845, FAN6604 gibi bazı hazır flyback mosfet sürücü entegreleri bulunmaktadır. Kullanılacak entegre, Görsel 4'de verilen devrede PWM yazılı yere bağlanır^{2,3,4,5,6}.

Flyback devre yapısı aşağıda verilmiş olup bu bölümde tek çıkışlı flyback devre tasarımı anlatılmıştır³. Devrede görülen *L_k* ve *L_m* bobinleri gerçekte devre üzerinde bobin gibi olmayıp kullanılan trafodan kaynaklı oluşan kaçak endüktans (*L_k*) ve mıknatıslanma (*L_m*) endüktansdır. Bu endüktanslar, tasvir etme amaçlı olarak devre üzerinde bobin şeklinde gösterilmiştir. *N*, trafonun dönüştürme oranıdır. Nasıl hesaplanacağı denklem (43)'de verilmiştir³.

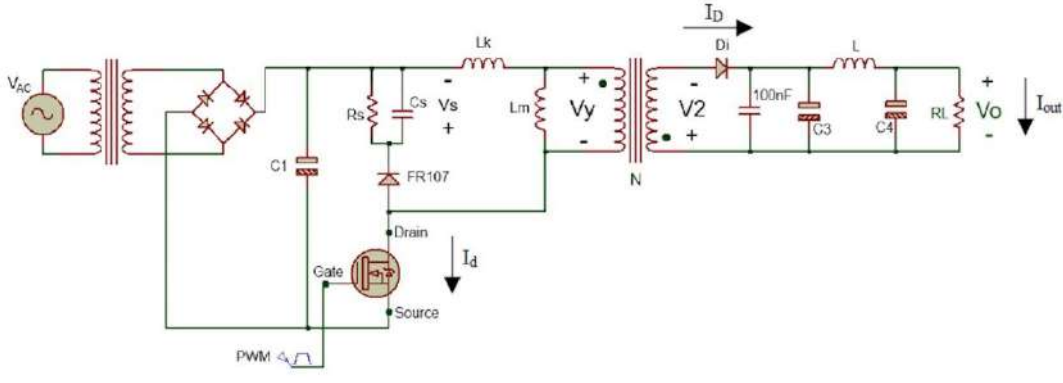
²www.allaboutcircuits.com

³AN4137 datasheet.

⁴FSL137H datasheet.

⁵NCP1014 datasheet.

⁶How to Design Flyback Converter With LM3481 Boost Controller, Texas Instruments.



Görsel 4. Tek çıkışlı (*tek fazlı*) Flyback DA-DA dönüştürücü devre yapısı.

V_y (V_{RO}) gerilimine “yansıyan gerilim” denir. Nasıl hesaplanacağı denklem (42)’de verilmiş olup V_o ile N değerinin çarpımı ile de hesaplanabilir³.

$C1$ kondansatörünün değeri, V_{AC} (*giriş AC gerilimi*) gerilim değerine göre hesaplanır. Pratik olarak $C1$ kondansatörü değeri şu şekilde belirlenir: V_{AC} gerilim değeri tasarımda $85V_{rms}$ (*minimum hat voltajı*) ile $265V_{rms}$ (*maksimum hat voltajı*) arası bir değer olarak kabul edilecekse (*bu değer aralığı UNIVERSAL INPUT olarak adlandırılır.*) çıkış gücü ile $2\mu F$ ya da $3\mu F$ çarpımı bir değer olarak seçilir³.

V_{AC} gerilim değeri $195V_{rms}$ ile $265V_{rms}$ arası bir değer olarak kabul edilecekse çıkış gücü ile $1\mu F$ çarpımı bir değer olarak seçilir³. Yani giriş gerilimini $85V_{rms}$ ile $265V_{rms}$ arası bir değer, Flyback çıkış gücünü $50W$ kabul edersek $C1$ ’i $150\mu F/400V$ seçebiliriz. Ya da $220\mu F/400V$ olarak seçebiliriz. Kondansatörlerin sağlıklı çalışması için kondansatörün çalışma gerilim değeri, bağlandığı devre geriliminin en az iki katı olacak şekilde seçilmelidir. Yukarıda verilen kondansatör gerilim değeri bu yüzden $400V$ olarak seçilmiştir. Yukarıda verilen gerilim kabul değerleri gerilimin RMS değerleridir. Gerilimin tepe değeri denklem (36) ile hesaplanır.

$$V_T = V_{RMS} \cdot \sqrt{2} \quad (36)$$

Tasarıma başlarken öncelikle oluşturulacak devrenin çıkış gücünün ne olacağını belirlemek gerekir. Yani kaç watt’lık bir dönüştürücü tasarlanacağına karar verilmelidir.

Çıkış gücüne göre çıkış gerilimi (V_o) ve çıkış akımının (I_{OUT}) değerlerinin ne olması gerektiği belirlenir.

$$P_o = V_o \cdot I_{out} \quad (37)$$

Flyback dönüştürücülerde verim (η) 0.8 ile 0.85 arası bir değer seçilir (FSL137H datasheet).

Çıkış gücünü ve verimin ne olması gerektiği belirlendikten sonra giriş gücü (P_i) hesaplanır.

³AN4137 datasheet.

$$P_i = \frac{P_o}{\eta} \quad (38)$$

Giriş gücü hesaplandıktan sonra kayıp güç bulunabilir.

$$P_{\text{Kayıp}} = P_i - P_o \quad (39)$$

Devrenin giriş gerilimi olan V_i değeri aynı zamanda C1 kondansatöründen sonraki devrede görülecek olan DC gerilimin minimum değerini ifade eder. V_i gerilim değerinin en düşük değeri denklem (40) ile hesaplanır³.

$$V_{i_{\min}} = \sqrt{2 \cdot (V_{AC(\min)})^2 - \frac{P_i \cdot (1 - D_{ch})}{C_1 \cdot f_h}} \quad (40)$$

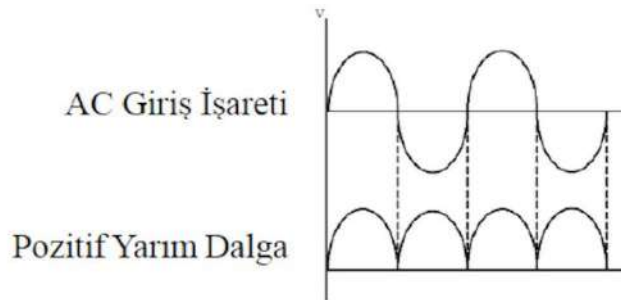
f_h , AC giriş geriliminin frekansıdır. (Türkiye için $f_h=50\text{Hz}$ 'dir.)

$V_{AC(\min)}$, AC sinyalin minimum değeridir. Örneğin universal input değerlerine göre hesap yapılacaksa $V_{AC(\min)}$ değeri denklem (40)'da 85V olarak alınır.

C1 kapasitesi yukarıda anlatıldığı gibi seçilirse D_{ch} değeri 0.2 alınır³. Aksi takdirde

$D_{ch} = T_1 \div T_2$ ile belirlenir. (T_1 ve T_2 ifadeleri Görsel 6'da verilmiştir.)

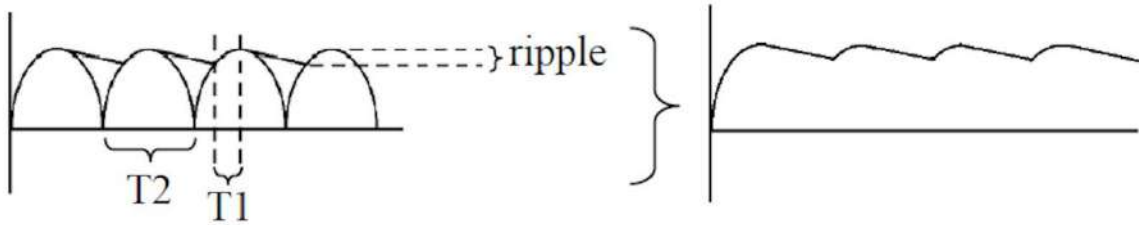
Köprü diyot ile yapılan AC sinyal doğrultma işlemine tam dalga doğrultma denir. Tam dalga doğrultma işlemi sonunda giriş AC sinyali Görsel 5'deki gibi (pozitif yarım dalga şeklinde) olur. Köprü diyot çıkışına kondansatör (C1) bağlandığında çıkış sinyalinin nasıl olacağı Görsel 6'da verilmiştir.



Görsel 5. AC giriş işareti ve bu işarete tam dalga doğrultma işlemi uygulandıktan sonra işaretin çıkış (pozitif yarım dalga) dalga şekli.

V_i 'nin en büyük gerilim değeri, V_{AC} 'nin en büyük değerinin $\sqrt{2}$ katıdır³. V_{AC} 'nin en büyük değeri 265V kabul edilirse V_i 'nin en büyük değeri 375V olacaktır. Yani primer tarafta görülecek en yüksek gerilim değeri 375V olacaktır.

³AN4137 datasheet.



Görsel 6. Tam dalga doğrultma işlemi uygulanan sinyalin kondansatör bağlantısından sonra oluşan dalga şekli.

$$V_{i_{\max}} = \sqrt{2} \cdot V_{AC} \quad (41)$$

Trafonun primer tarafında görülecek DC gerilime yansıyan gerilim ($V_y = V_{RO}$) denir. Yansıyan gerilim denklem (42) ile hesaplanır. Yansıyan gerilime göre de dönüştürme oranı belirlenir.

Flyback dönüştürücülerde Duty Cycle oranı 0.1 ile 0.5 arasında seçilir (FSL137H datasheet). ($0.1 < D < 0.5$)

$$V_y = \frac{D}{1 - D} \cdot V_{i_{\min}} \quad (42)$$

$$N = \frac{V_y}{V_2} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (43)$$

$N =$ dönüştürme oranı.

En yüksek giriş akımı değeri:

$$I_i = \frac{P_i}{V_{AC(\min)}} \quad (44)$$

Mosfetin drain ucunda görülecek gerilim:

$$V_{ds} = V_{i_{\max}} + V_y \quad (45)$$

Devrede CS kondansatörü ve RS direncinden oluşan kısım snubber devresidir. Mosfet kesime girdiğinde mosfetin Drain ucu üzerinde aşırı gerilim yükselmesi olur. Bu gerilim yükselmelerinin mosfet ve sistem üzerinde arızalara yol açmaması için gerilimi sabit tutmak amacıyla devrede direnç (RS), kondansatör (CS) ve diyot (bu devrede FR107 kullanıldı) ile bir

snubber (sönümleme) devresi kurulur. Mosfetin drain ucunda görülecek en büyük gerilim ($V_{ds(nom)}$) değeri snubber gerilimi (V_S) ile $V_{i(max)}$ toplamı kadardır³.

Devrede kullanılacak mosfetin seçimi bu gerilim değerinden büyük olacak şekilde seçilmelidir.

³AN4137 datasheet.

$$V_{ds(nom)} = V_{i(max)} + V_S \quad (46)$$

Mosfet drain akımının en yüksek değeri denklem (48) ile hesaplanır³. Bu akım değeri aynı zamanda primer bobin akımıdır. Burada hesaplanacak akım ($I_{d(peak)} = I_L = I_P$) değeri mosfet sürücü entegresinin çalışabileceği tepe akımı (*sürücü kataloğunda peak current limit ya da drain current limit şeklinde verilir*) değerinden büyük olmamalıdır.

$$I_E = \frac{P_i}{V_{i(min)} \cdot D} \quad \Delta I = \frac{V_{i(min)} \cdot D}{L \cdot f_s} \quad (47)$$

$$I_{d(peak)} = I_E + \frac{\Delta I}{2} \quad (48)$$

Akımın tepe değeri, burada hesapladığımız $I_{d(peak)}$ akım değerinin en az %15 fazlası olarak alınır ve bu akım değeri I_o ile ifade edilir³.

f_s , anahtarlama frekansıdır. Bu frekans değeri, kullanılacak sürücü entegresinin kataloğunda yazan değere göre belirlenir. Örneğin NCP1014 için anahtarlama frekansı 65kHz ya da 100kHz, FSL137H için ise 100kHz'dir. Anahtarlama frekansının değişimi ile çıkış gücünün değişimi doğru orantılıdır. Primer akımının rms değeri denklem (49) ile hesaplanır³.

$$I_{d(RMS)} = \sqrt{\left[3 \cdot (I_E)^2 + \left(\frac{\Delta I}{2} \right)^2 \right]} \cdot \frac{D}{3} \quad (49)$$

Sekonder akımının rms değeri aynı zamanda çıkış diyot akımının rms değeri denklem (50) ile hesaplanır³.

V_F , çıkış diyotunun kataloğunda verilen forward gerilimidir.

V_o , çıkış gerilimidir.

$$I_{s(RMS)} = I_{d(RMS)} \cdot \sqrt{\frac{1-D}{D}} \cdot \frac{V_y}{V_o + V_F} \quad (50)$$

Flyback devrelerinde mosfet'in source ucu ile GND arasına bir direnç bağlanabilir. Bu direnç hassasiyet (R_{sense}) direnci olarak adlandırılır. Bu direnç üzerinden Flyback entegresine giriş

yapılarak akım kontrolü yapılır. Ancak bu direnç üzerinde güç kaybı olacağı için ve gürültü, sıcaklık vb. durumlardan etkileneceği için bu yöntem çok verimli olmayabilir.

³AN4137 datasheet.

Bu yüzden devre tasarımında kullanılacak entegre seçiminde bu direnç bağlantısı yapılmayan entegreler (*FSL137H, NCP1014 gibi*) seçmek daha iyi sonuç almayı sağlayacaktır.

Primer tarafı endüktansı (*L ya da Lm*)³:

$$L = \frac{R_L \cdot (1 - D)^2}{2 \cdot f_s} \cdot \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = \frac{\eta \cdot (V_{i_{\min}} \cdot D)^2}{2 \cdot P_i \cdot f_s \cdot r_p} \quad (51)$$

$$r_p = \frac{\Delta I}{2 \cdot I_E} \quad (52)$$

rp (*ripple*) değeri, DCM (*kesintili akım modu*) çalışma modunda 1 olarak alınır³. CCM (*sürekli akım modu*) çalışma modunda ise Universal Input için **0.25** ile **0.5** aralığında bir değer seçilir³. Seçilen bu değer $I_{d(\text{peak})}$ akımıyla bağlantılı olduğu için ve $I_{d(\text{peak})}$ akımına göre mosfet sürücü seçimi yapılacağı için, rp değeri seçimi bu unsurlar göz önüne alınarak belirlenir³.

Kaçak endüktans (LK) değeri ise teorik olarak L değerinin **%1**'i ile **%3**'ü arasında bir değer olarak seçilir. Pratikte ise primer uçları kendi içinde sekonder uçları da kendi içinde kısa devre edildikten sonra primer tarafına anahtarlama frekansı uygulanarak ölçülür³.

$$\text{Bobinde depolanan enerji} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{d(\text{peak})}^2 \quad (53)$$

I_o akım değeri de belirlendikten sonra trafo sarım oranları belirlenir. Bu işlem için öncelikle üzerine sarım yapılacak nüve belirlenir. Kullanılacak nüve, devrenin çıkış gücüne göre belirlenir. Nüve türleri EI, EE, ETD, EER ve EPC şeklindedir. Çıkış gücüne göre kullanılacak nüve türleri Çizelge 1'de verilmiştir. Nüve seçimi yapmadan önce, kullanılacak nüvenin katalogundan da çalışma gücüne bakılmalıdır³.

Çizelge 1. Flyback devresi çıkış gücüne göre kullanılacak (67kHz anahtarlama frekansında 12V çıkış tek fazlı devre tasarımı için) nüve türleri örnek Çizelgesu³.

Çıkış Gücü	EI	EE	EER	EPC
10W'a kadar	E119	EE10 EE16		EPC13 EPC17
10W-20W	E122	EE19		EPC19

20W-30W	E125	EE22	EER25.5	EPC25
30W-50W	E130	EE25	EER28	EPC30
50W-70W	E135	EE30	EER28L	
70W-100W	E140	EE35	EER35	
100W-150W	E150	EE40	EER40	

³AN4137 datasheet.

Primer tarafın minimum sargı sayısı (*tur sayısı*) denklem (54) ile hesaplanır³.

$$N_{P(\min)} = \frac{L \cdot I_0}{B_S \cdot A_e} \cdot 10^6 \quad (54)$$

Sonuç tam sayı çıkmazsa ya da dönüştürme oranımızla (N) uyumlu bir sayı çıkmaz ise $N_{P(\min)}$ değeri dönüştürme oranı ile orantılı bir üst sayıya yuvarlanır.

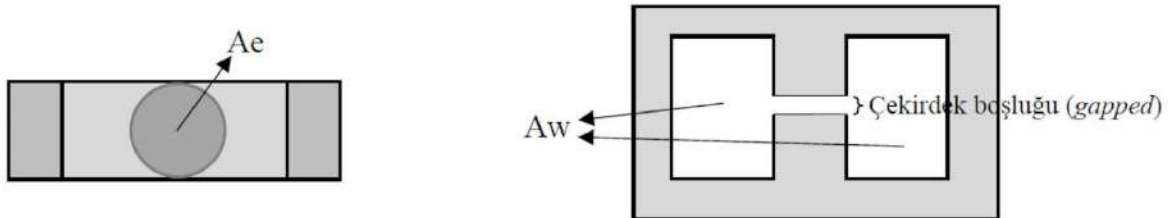
Örneğin dönüştürme oranı (N) 7 olsun, $N_{P(\min)}$ değeri de 47.6 olsun. Bu durumda $N_{P(\min)}$ değeri 49 olarak seçilebilir. Böylece dönüştürme oranından sekonder taraf sarım sayısı da (NS) tam sayı seçilmiş olacaktır.

Denklemden B_S değeri $0.3T$ (*Tesla*) ya da $0.35T$ alınır³.

A_e (*effective cross sectional area of core*) değeri, nüvenin kesit alanını ifade eder ve değerine nüvenin kataloğundan bakılır (*Görsel 7*). Katalogda mm^2 olarak verilen bu değer hesaplamalarda m^2 'ye çevrilerek işlem yapılır. (Örnek: $2mm^2 = 2 \cdot 10^{-6}m^2$)

Trafo için bir diğer önemli parametre de A_w (*winding area*) değeridir. Bu değer nüvedeki boşluk alanını (*pencere alanı*) ifade eder ve nüvenin kataloğunda mm^2 cinsinden verilir. Bu alan iletken telin sarılacağı alanı ifade eder. Tel sarımı yapıldıktan sonra bu alan içinde kalan boşluk soğumayı kolaylaştırır.

Seçilecek nüvenin gücü, $P_N = A_e \cdot A_w$ denklemi ile hesaplanır.



Görsel 7. A_e ve A_w ifadelerinin nüve üzerinde gösterimi^{7,8}.

Kabul akımı, 1mm² kesitli iletkenden geçecek akım değerini ifade eder. Bu akım değeri 2A ile 8A arasında bir değer (*ilk tasarım aşamasında 5A seçilebilir*) seçilir. Yani kabul akımı 5A seçildiğinde 1mm²'den 5A akım geçecek şekilde kabul edilir³. Primer tarafında kullanılacak iletkenin kesit alanının kaç mm² olacağı $I_{d(RMS)}$ akımının kabul akıma bölünmesiyle bulunur. Sekonder taraf için ise $I_{s(RMS)}$ akımının kabul akımına bölünmesiyle bulunur³.

Kesit alanı = $\pi \cdot r^2$ denkleminde yola çıkarak hesaplanan kesit alanı = $\pi \cdot r^2$ 'den r'yi çekerek kullanılacak iletkenin yarıçapı hesaplanır. $2 \cdot r$ ile de kullanılacak iletkenin çapı hesaplanır.

³AN4137 datasheet.

⁷<https://www.es.co.th/Schematic/PDF/FDK-FERRITE.PDF>.

⁸<http://www.shiruitech.com/Images/2010-11/2010110562659581.pdf>.

Yani kesit alanı hesaplanan iletkenin çapı denklem (55) ile hesaplanır.

$$2 \cdot \sqrt{\frac{\text{iletkenin kesit alanı}}{\pi}} \quad (55)$$

Hesaplanan çap (emaye tel çapı) değeri standart bobin teli değerlerinden farklı bir değer çıkarsa, hesaplanan değere en yakın bir üst değere yuvarlanır ve bu değere göre $\pi \cdot r^2$ ile kesit alanı tekrar hesaplanır.

Toplam kesit alanı:

$$A_C = (N_p \cdot \text{primer tel kesit alanı}) + (N_s \cdot \text{sekonder tel kesit alanı})$$

ile hesaplanır³.

İletken çapları standart değerlerde üretilir. İletken çapının kalın olması durumunda kalın ve tek damarlı iletken yerine hesapladığımız iletkenin kesit değerini verecek şekilde iki ya da üç damarlı ince bobin iletken de kullanılabilir.

Örneğin: $I_{s(RMS)}$ değeri 1.5A olsun. Kabul akımımız da 5A olsun. Bu durumda iletkenin kesit alanı 0.3mm², iletken çapı da 0.62mm bulunur. Bu iletken çapının nüve için kalın olması durumunda çapı 0.4mm olan iletken kullanımına gidilebilir. 0.4mm iletken kullanılması durumu için işlemleri tersten yaparak iletken kesiti hesaplanırsa 0.1256mm² bulunur. Yani yaklaşık 0.13mm² olur. İlk durumda iletken çapını 0.3mm² hesaplandığına göre iletken 2 damarlı (0.13mm² · 2 = 0.26mm² ≈ 0.3mm²) 0.4mm çaplı seçilebilir.

Hesaplama yapılırken nüvenin soğuma durumu da göz önüne alınmalıdır. Yani sarım yapıldıktan sonra nüve içinde bir miktar boşluk kalacak şekilde nüve seçimi yapılır.

Sarım için gerekli pencere alanı **AWR** ile ifade edilir. AWR alan hesabı yapılarak nüvenin doğru seçilip seçilmediği, başka bir deyişle sargıların nüveye sığıp sığmayacağı kontrolü yapılır³.

$$A_{WR} = \frac{A_C}{K_F} \quad (mm^2) \quad (56)$$

Nüve üzerine bobin sarıldıktan sonra pencere alanında (A_W üzerinde) dolduracağı alan yüzde olarak KF ile ifade edilir. **KF**, sarım faktörü olarak adlandırılır ve değeri **0.2** ile **0.3** arasında (*genel kabul 0.25 tir*) bir değer olmalıdır³.

$A_W > A_{WR}$ şartı sağlanıyorsa uygun nüve seçimi yapılmış demektir. $A_{WR} > A_W$ olması durumunda farklı bir nüve seçilmelidir.

³AN4137 datasheet.

Buradan trafo sarımı için şöyle bir sonuç çıkar:

- Primer taraf için: N_P , primer tur sayısı.

$I_{d(RMS)}$ akımının kabul akıma bölünmesiyle iletken kesiti belirlenir.

Kesit hesabından sonra da iletkenin çapı ve kaç damarlı olacağı belirlenir.

- Sekonder taraf için: $N_P \div N$ ile sekonder tur sayısı hesaplanır.

$I_{s(RMS)}$ akımının kabul akıma bölünmesiyle iletkenin kesiti belirlenir.

Kesit hesabından sonra da iletkenin çapı ve kaç damarlı olacağı belirlenir.

Snubber devresinin gerilimi (V_S), yansıyan gerilim (V_y) değerinin **2** ya da **2.5** katı kadar bir değer olarak seçilir. Snubber devresi için devrede kullanılacak kondansatör (C_2) ve direnç (R_I) değerleri ile snubber gücü denklem (57) ve denklem (58) ile hesaplanır³.

$$P_s = \frac{1}{2} \cdot f_s \cdot L_K \cdot (I_{d(peak)})^2 \cdot \frac{V_s}{V_s - V_y} = \frac{V_s^2}{R_s} \quad (57)$$

$$C_2 = \frac{V_s}{\Delta V_s \cdot R_s \cdot f_s} \quad (58)$$

ΔV_s , snubber kondansatörü dalgalanma oranıdır. Dalgalanma oranı snubber geriliminin (V_s) **%5** ile **%10**'u arasında istenilen bir değer seçilir.

Çıkış tarafında kullanılan diyot Schottky diyot (*SB360, SB560, SB3200, SS120, MBR1060, MBR1660*) ya da ultra fast diyot olmalıdır. Seçilecek diyot çıkış gerilimine dayanacak şekilde seçilmelidir.

Çıkış tarafında görülen diyotun katot ucuna gelecek gerilim değeri $V_2 + V_0$ ile hesaplanır³. V_0 gerilimi belirlenen çıkış gerilim değeridir. V_2 gerilimi de giriş geriliminin en büyük değerine

göre belirlenir. Giriş geriliminin en büyük değeri 375V'dir. Dönüştürme oranı da N olduğuna göre $V_2 = 375 \div N$ 'dir. Seçilecek diyotun dayanma gerilimi bu gerilim değerinin en az 2 katı olacak şekilde seçilmelidir ki gerilim dalgalanması olması durumunda zarar görmesin.

Çıkış gerilimini 24V, çıkış gücünü de 24W kabul edersek devre akımı 1A olur. Yani çıkış diyotu (D_i) üzerinden teoride 1A akım (I_D) akacaktır. Diyot seçimi, diyot üzerinden geçen akıma ve bu akıma göre diyot üzerinde oluşacak forward gerilim (V_F) değeri de diyot seçiminde göz önüne alınmalıdır. Akıma göre diyot üzerinde oluşacak forward gerilim (V_F) değerine diyotun kataloğundan bakılır.

Diyot üzerinde akan akım ile V_F değerinin çarpımı diyot üzerinde oluşacak kayıp gücü ($P_{LOSS} = I_D \cdot V_F$) verir. Kayıp güç ısı olarak açığa çıkar. Diyotun kataloğunda yazan watt başına oluşan sıcaklık değerini ifade eden R_{QJA} değeri ile kayıp gücü çarpıldığında ($R_{QJA} \cdot P_{LOSS}$) diyotun jonksiyon sıcaklığı elde edilir.

Hesaplanan jonksiyon sıcaklık değeri ile ortam sıcaklığı (T^oC) değerleri toplandığında diyotun ulaşacağı sıcaklık ($\Delta t = R_{QJA} \cdot P_{LOSS} + T^oC$) değeri elde edilir. Bu sıcaklık değerinin diyotun çalışma sıcaklığından (T_J, T_{STG}) büyük olmamasına dikkat edilmelidir. Diyot seçimi yaparken bu kriter de göz önünde bulundurulmalıdır.

Kullanılacak diyotun ters toparlanma süresi de (trr) önemli bir parametredir. Diyot kesime girdikten sonra tekrar ilettime geçmesi için trr süresi kadar beklenmelidir. Aksi halde zamanla özelliğini kaybetmeye başlayacaktır. Schottky diyotların trr değeri yoktur. Ultra-fast diyotların trr değeri ise nanosaniye mertebelerindedir. Bu sebeple devrelerde schottky ya da ultra fast diyot kullanılır.

Diyot çıkışındaki devrede kondansatörler (C_3 ve C_4) gerilim dalgalanmalarını, bobin (L) ise akım dalgalanmalarını sönümler.

Çıkış kondansatörü (C_3) çıkış kondansatör akımına göre belirlenir. Kondansatör üzerine gelecek akımı karşılayacak bir kondansatör seçilmelidir. Kullanılacak kondansatörün kapasitesi büyük, ESR değeri düşük olan bir kondansatör ($470\mu F$ $50V$ gibi) seçilmelidir. Kondansatör üzerine gelecek akım değeri denklem (59) ile hesaplanır³.

$$I_{C3} = \sqrt{I_{S(RMS)}^2 - I_{out}^2} \quad (59)$$

Çıkışta LC filtre devresinin (C_4 ve L) değeri çalışma frekansına (fs) göre belirlenir. LC filtrenin değeri çalışma frekansının yaklaşık 0.01'i kadar bir değer seçilir. fs 'nin 0.01'ine f_r dersek LC değeri denklem (60) ile hesaplanır³.

$$f_f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad (60)$$

3. SONUÇ

Bu çalışmada Buck, Boost, Buck-Boost ve Flyback DC-DC dönüştürücü devre çalışmaları anlatılmış ve devre yapıları hakkında bilgiler sunulmuştur, ayrıca bu devrelerin güç değerlerine göre trafo tasarımı da anlatılmıştır. Çalışmalarda öngörülemeyen değerler için artı yüzde yirmi güç toleransı eklenerek gerçek değerler elde edilmiştir. Anlatılan devre yapıları ve tasarım hesapları temel devre yapısına göredir. Denklemler devrenin sürekli çalışma modunda (*CCM*) kabulüne göre elde edilen denklemlerdir. Devrelerin çalışacağı ortamın gürültü durumuna göre girişine ya da çıkışına EMI filtre devreleri eklenmesi gerekebilir. Bu durumda, devreye eklenecek yeni elemanlara göre devre analizi yapılarak devre en sade (*devrenin girişine eleman eklenirse giriş tarafı, çıkışına eklenirse çıkış tarafı*) şekle dönüştürülerek hesaplama işlemleri yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

1. AN4137 datasheet.
2. B. Axelrod, Y. Berkovich and A. Ioinovici, "Switched-Capacitor/Switched-Inductor Structures for Getting Transformerless Hybrid DC–DC PWM Converters," in IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 55, no. 2, pp. 687-696, March 2008, doi: 10.1109/TCSI.2008.916403.
3. D.W. Hart, Power Electronics, McGraw Hill, 2011.
4. E. Koutroulis and K. Kalaitzakis, "Design of a maximum power tracking system for wind-energy-conversion applications," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 53, no. 2, pp. 486-494, April 2006, doi: 10.1109/TIE.2006.870658.
5. FSL137H datasheet.
6. H. Bodur, Güç Elektroniği, Birsen Yayınevi, 2010.

7. How to Design Flyback Converter With LM3481 Boost Controller, Texas Instruments.
8. Marrapu, S. H. N., & Rathinadurai Louis, J. (2024). Design and analysis of soft-switching isolated step-up/down DC–DC converter for fuel cell vehicles and EV battery charging applications. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 46(1), 17–38. <https://doi.org/10.1080/15567036.2024.2370338>
9. M. H. Rashid, *Güç Elektroniği: Yarıiletken Elemanlar, Devreler ve Uygulamaları*, 2016.
10. M. N. Kheraluwala, R. W. Gascoigne, D. M. Divan and E. D. Baumann, "Performance characterization of a high-power dual active bridge DC-to-DC converter," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 28, no. 6, pp. 1294-1301, Nov.-Dec. 1992, doi: 10.1109/28.175280.
11. M. Veerachary, "Two-Switch Semicquadratic Buck Converter," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, no. 2, pp. 1185-1194, Feb. 2017, doi: 10.1109/TIE.2016.2611571.
12. NCP1014 datasheet.
13. N. Manimaran, J. Baskaran, K. Padmanathan, G. Mahalakshmi, A Buck-Boost-Flyback integrated converter for grid-connected wind-photovoltaic battery energy storage system using hybrid optimization assisted model, *Journal of Energy Storage*, Volume 104, Part B, 2024, 114484, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.114484>.(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235215X24040702>)
14. R, A., & C, B. (2024). A non-isolated converter of switching current stress in DC-DC converter for integrating PV and battery storage system. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 46(1), 1–29. <https://doi.org/10.1080/15567036.2024.2417780>
15. T. Dragičević, X. Lu, J. C. Vasquez and J. M. Guerrero, "DC Microgrids—Part I: A Review of Control Strategies and Stabilization Techniques," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 31, no. 7, pp. 4876-4891, July 2016, doi: 10.1109/TPEL.2015.2478859.
16. U. Dey and M. Veerachary, "Two-Part Controller Design for Switched-Capacitor Based Buck–Boost Converter," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, doi: 10.1109/TIE.2024.3485719.

17. A. Gün and A. Karamancıoğlu, “PID Control of an Inverted Pendulum with Experimental Friction Model Estimation”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 21, no. 5, pp. 1078–1085, 2021, doi: 10.35414/akufemubid.893694.

İNTERNET KAYNAKLARI

18. <https://www.es.co.th/Schemetic/PDF/FDK-FERRITE.PDF>
(Erişim tarihi: 20.11.2024)
19. <http://www.shiruitech.com/Images/2010-11/2010110562659581.pdf>
(Erişim tarihi: 07.07.2024)
20. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775312003953>
(Erişim tarihi: 22.12.2024)
21. www.allaboutcircuits.com
(Erişim tarihi: 18.11.2024)

PI SLIDING MODE CONTROL FOR CUK CONVERTER AND THEIR TUNING USING CHEETAH OPTIMIZER AND REINFORCEMENT LEARNING

Asst. Prof. Murat Erhan ÇİMEN¹

¹ Sakarya University of Applied Sciences, Faculty of Technology,
muradcimen@subu.edu.tr -<https://orcid.org/0000-0003-4290-2718>

ABSTRACT

In recent years, there has been a growing focus on developing new methods for the efficient utilization of renewable energy sources. This study investigates the control of the CUK converter, a type of DC-DC converter that regulates and amplifies constant DC voltage. The main contribution of this research is the integration of a novel approach based on the Cheetah optimizer and the Deep Q-Network (DQN) algorithm to enhance the control performance of the CUK converter. The study is conducted in two stages. First, the parameters of the Proportional-Integral (PI) sliding mode controller for the CUK converter are optimized using the Cheetah optimizer. This step aims to minimize Integral Squared Error (ISE) performance criterion, ensuring a more accurate control system. Next, a weighting factor (denoted as φ) is introduced to further refine the optimization process by modifying the Ki parameter from the optimized Kp and Ki values. This weighting factor is determined through the DQN algorithm, which is employed to improve the performance of the PI controller even further. Simulation results demonstrate that the proposed method, which combines Cheetah optimization for PI controller tuning and DQN-based weighting factor adjustment, significantly improves the dynamic response of the CUK converter. Specifically, the system achieves a faster response time and a better performance in terms of the ISE criterion. This hybrid approach offers a promising solution for enhancing the control of DC-DC converters in renewable energy applications.

Keywords: Cuk Converter, DQN, Cheetah Optimizer

1. INTRODUCTION

Electrical energy is one of the cornerstones of modern society and plays an indispensable role in our daily lives. Growing energy demand around the world is creating new challenges for energy production and consumption. Our dependence on fossil fuels increases greenhouse gas emissions that lead to environmental degradation and climate change. Therefore, it is extremely important to turn to renewable energy sources for a sustainable future [1], [2], [3], [4]

Solar energy systems have an important place among renewable energy sources. Converting solar energy into electricity using photovoltaic (PV) panels holds promise for clean and sustainable energy production [1], [5]. However, the efficiency of PV panels is affected by factors such as radiation level, temperature and load impedance. Therefore, Maximum Power Point Tracking (MPPT) systems are used to obtain maximum power from PV systems [1], [2].

The CUK converter is a high-performance DC-DC converter and is widely used for MPPT applications in PV systems [2], [6], [7]. The advantages of the CUK converter include the output voltage can be higher or lower than the input voltage, continuous input and output currents. An effective control system design is crucial for efficient and reliable operation of the CUK converter [6], [7].

Converter control is performed to regulate and maintain the output voltage at the desired level (Saha et al., 2024). For this purpose, various control strategies such as traditional control methods (e.g., PI control, sliding mode control) and modern control methods (e.g., artificial neural networks (ANN), model predictive control (MPC), fuzzy logic, adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) control) are used [7], [8], [9], [10], [11], [12]

One of the metaheuristic optimization methods proposed in recent years is the Cheetah optimizer [1], [13], [14]. This paper presents Cheetah optimizer based approach for the control of the CUK converter. The Cheetah optimization algorithm is a recently developed metaheuristic optimization algorithm inspired by the hunting strategies of cheetahs. This algorithm, which consists of three main stages: search, observation and attack, has the potential to produce effective results in solving complex problems [1], [14]. Cheetah optimization algorithm has been applied to various engineering problems in the literature and successful results have been obtained. For example, it has been used in areas such as MPPT in PV systems, power distribution network reconfiguration and multi-objective optimization problems [1].

Reinforcement learning (RL) is a machine learning paradigm that enables an agent to learn an optimal policy by interacting with an environment and learning to maximize the rewards it receives [8], [15], [16]. In recent years, RL has been used in the field of power electronics control, especially to improve the control performance of DC-DC converters. RL offers several advantages over conventional control methods [17]. For example, it does not require accurate modeling of system dynamics and can adapt to changing operating conditions [8].

The Deep Q-Network (DQN) algorithm is a widely used algorithm in the field of RL. DQN is a value-based RL algorithm that estimates Q-values using deep neural networks [18]. The DQN algorithm has been successfully applied in various fields such as game playing, robotics control and power electronics control [19], [20].

This study aims to optimize the PI controller parameters of the CUK converter according to the Integral Squared Error (ISE) performance criterion with the Cheetah optimizer and then further improve the ISE performance criterion by weighting the Ki parameter from these optimized Kp

and Ki parameters with the DQN algorithm. Although there are no specific studies on the application of the DQN algorithm to CUK converter control in the literature, the use of RL and DQN in power electronics control highlights the importance and potential benefits of this study.

The results of the study show that the proposed approach significantly improves the control performance of the CUK converter and produces successful results in terms of the ISE performance criterion.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Cuk Converter

Cuk converter, one of the DC-DC amplifier circuits, consists of 2 coils, 2 capacitors, diode, switching element, DC voltage source and load. The general structure of the circuit is given in Figure 1. In order to model and control the CUK circuit, circuit equations were generated depending on whether the switch is open or closed. According to the generated circuit equations, the current flowing through coil L1 is given in equation 1, the current flowing through coil L2 is given in equation 2, the voltage of capacitor Vc1 is given in equation 3 and the voltage of capacitor Vc2 is given in equation 4 [2], [6].

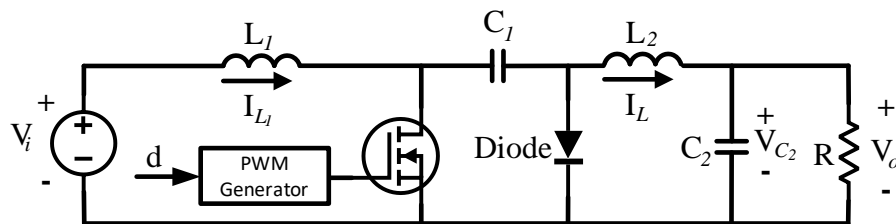


Figure 1. CUK Converter

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{1}{L_1} (V_i - (1-d)V_{C_1}) \quad 1$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{1}{L_2} (-V_{C_1}d - V_{C_2}) \quad 2$$

$$\frac{dV_{C_1}}{dt} = \frac{1}{C_1} (-i_2d - i_1(1-d)) \quad 3$$

$$\frac{dV_{C_2}}{dt} = \frac{1}{C_2} \left(i_2 - \frac{V_{C_2}}{R} \right) \quad 4$$

2.2. Sliding Mode Control

In order to control the CUK converter in a more stable and robust way, the controller design is realized with the sliding mode control method from nonlinear controllers[9]. For this, equation 5 is first generated as the Lyapunov energy (V) equation. In Equation 5, the sliding surface is squared. The derivative of the energy function is taken and the condition that its derivative is always zero or smaller is imposed. Then the surface design was made in equation 6. When the derivative of the surface is taken in Equation 7, the control signal required to be applied when $V=0$ is calculated. When it leaves this equilibrium point, the expression $-k\text{sign}(S)$ is added so

that it can stay at the equilibrium point again and it is ensured to move continuously on the surface [9], [11].

$$V = \frac{1}{2}s^2 \rightarrow \dot{V} = s\dot{s} \leq 0 \quad 5$$

$$s = e = i_{L_2} - i_{L_2}^* = x_1 - x_1^* \quad 6$$

$$\dot{s} = \dot{x}_1 - \dot{i}_{L_2}^* = \dot{x}_1 - 0 = \frac{1}{L_1}(V_i - (1-d)x_3) = 0 \rightarrow d_{eq} = 1 - \frac{V_{in}}{x_3} \quad 7$$

$$d = -k\text{sign}(S) + d_{eq} \quad 8$$

2.3. PI Sliding Mode Control

After the sliding mode control of the CUK converter is completed, a PI controller is designed to control the voltage at the output of the system and to reset the steady state error. The general structure of the PI controller is given in equation 9. In addition, the PI Sliding mode control structure of the CUK converter is given in Figure 2 [9].

$$PI(s) = G_c(s) = \frac{i_{L_2}^*(s)}{e(s)} = K_p + K_i \frac{1}{s} \quad 9$$

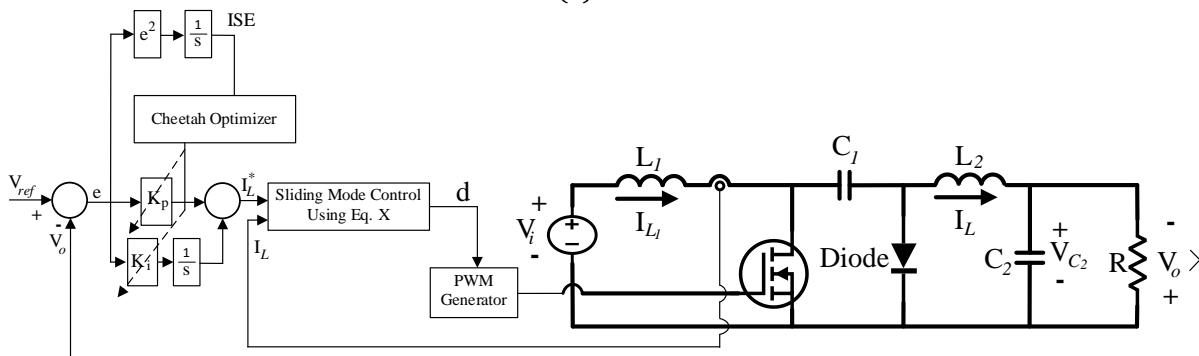


Figure 2. PI Sliding Mode Control of Cuk Converter

2.5 Cheetah Optimizer

The algorithm's primary goal is to locate a prey solution and hunt it by updating the prey's position. The hunting process comprises four steps: searching, sitting and waiting, attacking, and leaving the prey to return home [1], [14].

Searching Phase

Cheetahs typically scan their surroundings either by remaining stationary in a location where prey is likely to be spotted or by actively traversing a d-dimensional search space [1], [14]. The cheetah population, denoted as n, is dispersed throughout various stages of the hunting process, and each prey's location is represented by the optimal decision variable value. In this step, the position of cheetah i is determined by utilizing its current position, denoted as $X_{i,j}^t$ in arrangement j, along with a randomized variable $\hat{r}_{i,j}^{-1}$, and step length $\alpha_{i,j}^t$. The variable t represents the current hunting time and falls within the range of 0 to the maximum hunting time (T_{max}). The value of α fluctuates based on the distance between the current cheetah (leader) and

its neighboring cheetah. Should a competitor emerge, the leader may opt to run swiftly and alter its direction. Mathematically, α for the leader is calculated using $\alpha_{i,j}^t = 0.001^t / T_{max}$. For other members, $\alpha_{i,j}^t$ in each cheetah's arrangement is calculated by multiplying the distance between the position of cheetah i and a randomly selected cheetah. The position of cheetah i is updated as shown below in Equation 10:

$$X_{i,j}^{t+1} = X_{i,j}^t + \hat{r}_{i,j}^{-1} \alpha_{i,j}^t \quad 10$$

Sitting-and-Waiting Phase

Upon identifying a prey, cheetahs assess it based on various factors, including the surrounding environment and their distance from the prey [1], [14]. The cheetah remains stationary and observes the prey until it moves closer. The cheetah's position, represented by $X_{i,j}^{t+1}$, remains unchanged from its position at $X_{i,j}^t$. Mathematically, this can be expressed as Equation 11.

$$X_{i,j}^{t+1} = X_{i,j}^t \quad 11$$

In this step, the positions of all cheetahs are not updated simultaneously as they search for an improved solution. This approach helps prevent premature convergence [1], [14].

Attacking Phase

To initiate an attack, a cheetah leverages its high speed and agile physique to swiftly move and intercept the prey [1], [14]. The subsequent positions of cheetah i are situated in proximity to the prey's last recorded position. The cheetah's position is determined using the prey's current position, denoted as $X_{B,j}^t$, $\check{r}_{i,j}$, and step size $\beta_{i,j}^t$.

$$X_{i,j}^{t+1} = X_{B,j}^t + \check{r}_{i,j} \beta_{i,j}^t \quad 12$$

where $\check{r}_{i,j}$ is the turning factor with respect to the prey. $\beta_{i,j}^t$ represents the interaction factor between cheetahs and is calculated as the difference between a neighboring cheetah's current position and the current position of the i th cheetah. The interaction factor is employed to modify the position of the i th cheetah in response to the presence of the leader, nearby cheetahs, and the prey. $\check{r}_{i,j}$ is a randomized variable and is calculated as shown in Equation 9:

$$\check{r} = r e^{(0.5r)} \sin(2\pi r) \quad 13$$

The variable r denotes a random number within a normal distribution and is utilized to represent the abrupt changes in a cheetah's path as it pursues and captures its prey [1], [14].

Leaving-prey-and-returning-home Phase

If an attack proves unsuccessful, cheetahs retreat to their home base to conserve energy before embarking on a new hunt [1], [14]. The position of cheetah i is adjusted to match the prey's current position, denoted as $X_{B,j}^t$.

$$X_{i,j}^t = X_{B,j}^t$$

14

The leader's position is designated as the position of the most optimal solution. Subsequently, the hunting time, denoted as t , and the positions of the remaining cheetahs are reset.

The improved functional value of updated solutions during the optimization process is a testament to the greedy selection method employed by Cheetah Optimizer. In this process, solutions with inferior objective values are substituted with superior ones, and solutions sharing identical objective values are replaced with randomly generated solutions. Algorithm 1 provides a representation of the cheetah optimization algorithm [1], [14].

Algorithm 1. Pseudocode of Cheetah Optimizer

Set the population size nnn and define the optimization problem with dimension D .	
Initialize the cheetah population (X_i) and evaluate each individual using $F(X_i)$	
Set up the leader solution, prey solutions, and the home position.	
Set maximum hunting time T , maximum iterations T_{max} , current iteration $it = 1$ and current hunting time $t = 0$	
While $it < T_{max}$	
	Randomly select m cheetahs such that $2 \leq m \leq n$
	For $i=1:m$
	Identify a neighboring cheetah for cheetah i
	For $j=1:D$
	Generate a random number r
	Compute \check{r} using Equation 13
	Calculate α, β
	$H = e^{2\left(1-\frac{t}{T}\right)}(2r_1 - 1)$
	Generate random numbers r_1, r_2, r_3
	if $r_2 \leq r_3$
	Generate a random number r_4 from the interval $[0, 3]$
	if $r_4 \leq H$
	Execute equation 10
	else
	Execute equation 12
	End If
	else
	Execute equation 14
	End If
	End For
	Update prey solutions for cheetah i and leader
	End For
	$t=t+1$
	If $(t > \text{rand}() * T)$ and (there is no change in the leader's position)
	Replace cheetah i with a prey position based on Equation 14 and update the leader's position.
	Execute the "leave prey and return home" strategy

	Reset the hunting time $t=0$
	End if
	Increment the iteration it
	Update the global best (prey) position
	End while

2.4. Reinforcement Learning

Reinforcement Learning (RL) is a branch of artificial intelligence that enables an agent to learn optimal decisions through interaction with its environment [15], [16], [21], [22]. By receiving rewards or penalties after each action, the agent gradually learns to understand its surroundings better. The goal of RL is for the agent to learn actions that maximize cumulative rewards, ultimately developing a strategy that achieves the highest long-term reward. Unlike traditional supervised learning methods, which focus on predicting future states of a system, RL emphasizes selecting actions that lead to the best possible outcomes.

The key components of reinforcement learning are the agent, environment, actions, states, and reward signal[21]. The agent selects an action at each step, affecting the environment, and evaluates its performance based on feedback from the environment (rewards/penalties). For example, a robot performing a specific task evaluates its success based on the rewards it receives. To maximize rewards, the agent develops long-term strategies and continuously interacts with its environment[23]. This structure is generally shown in Figure 3.

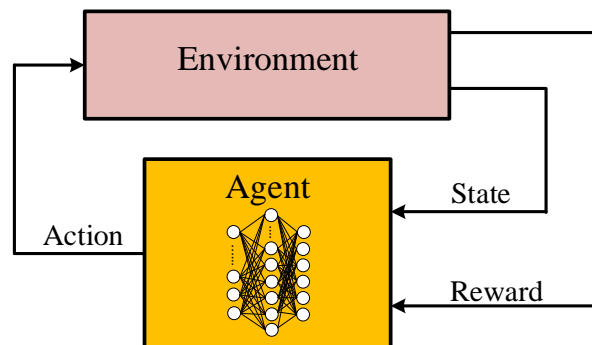


Figure 3. Agent and Environment interaction

The Deep Q-Network (DQN) is a significant advancement in reinforcement learning, combining the traditional Q-learning algorithm with deep learning techniques [24]. In standard Q-learning, an agent learns to estimate the value of actions taken in specific states, known as "Q-values," which represent the expected cumulative reward for each action in a given state. However, in environments with large or continuous state spaces, storing and updating Q-values in a table becomes computationally prohibitive, leading to scalability challenges [23].

DQN addresses this limitation by using deep neural networks to approximate the Q-values instead of relying on a lookup table. A deep neural network is trained to map states (or state-action pairs) to their corresponding Q-values, enabling the agent to make decisions in high-dimensional and complex environments. This approach allows the agent to generalize across similar states, making it highly effective in dynamic and continuous environments.

One of the key strengths of DQN is its ability to handle large state spaces and complex decision-making tasks. This capability was famously demonstrated in the domain of Atari

games, where DQN achieved human-level performance on several games by learning directly from raw pixel inputs. DQN employs two important techniques to stabilize and improve the learning process: experience replay and target networks [25].

Experience replay allows the agent to store and reuse past interactions by sampling them randomly during training. This approach helps break the correlation between consecutive experiences, reducing the variance of updates and improving the efficiency of learning. Additionally, target networks are used to further stabilize learning. DQN mitigates this by maintaining a separate target network, a copy of the main network, which is updated less frequently. This slows down the changes in the Q-values, leading to more stable convergence. DQN has been successfully applied in various domains beyond games, including robotics and autonomous systems, where complex decision-making in high-dimensional spaces is required [23], [24], [26].

The deep neural networks in the DQN algorithm are updated iteratively, as shown in Equation 15, where θ represents the parameters of the artificial neural networks. This equation consists of two components: Target and Prediction parts. The prediction part represents the value generated by the agent based on its current state and selected action, as outlined in Equation 16. The target part, on the other hand, denotes the estimated value of the future state, as described in Equation 17. The objective is to minimize the cost function defined in Equation 18. To achieve this, the gradients of the cost function with respect to the neural network parameters are computed, leading to Equation 19. The weights of the network are updated based on these gradients. Since deep learning techniques are employed in this framework, it is referred to as the Deep Q-Learning algorithm [24], [26]. The pseudocode of the DQN algorithm is presented in Algorithm 1.

Algorithm 1. Deep Q learning Algorithm

Initialize replay memory D and set the update step number C	
Initialize the action-value function $\bar{Q}(s, a \theta)$ with random weights.	
Initialize the target value function $Q(s', a' \theta_i)$ with specified parameters (θ)	
For iter=1:M	
	Initialize the state s_0 in the environment and set done=False
	While done=False
	Select an action a_t using the epsilon-greedy policy.
	Execute action a_t in the environment and observe the next state s_{t+1} , reward r_t , and whether the episode is done.
	Store the transition (s_t, a_t, s_{t+1}, r_t) in the replay memory D
	$\hat{y} = \begin{cases} r_t & \text{done} = True \\ r_t + \gamma \max_{a' \in A} (Q(s', a' \theta_i)) & \text{else} \end{cases}$
	To minimize the loss function, compute Equation 18 and update the parameters of the Q-network.
	Every C step, update the target network $\hat{Q} = \bar{Q}$
	End while
	End For

$$Q(s, a) = Q(s, a) + \alpha \left(r + \gamma \max_{a' \in A} (Q(s', a')) - Q(s, a|\theta) \right) \quad 15$$

$$\hat{y} = Q(s, a|\theta) \quad 16$$

$$\tilde{y} = r + \gamma \max_{a' \in A} (Q(s', a')) \quad 17$$

$$L_i(\theta_i) = E_{s,a,r} \left[(\tilde{y} - Q(s, a|\theta))^2 \right] \quad 18$$

$$\frac{dL_i(\theta_i)}{d\theta_i} = \nabla_{\theta_i} L_i(\theta_i) = E_{s,a,r,s'} \left[r + \gamma \max_{a' \in A} (Q(s', a'|\theta_i)) - Q(s, a|\theta_i) \right] \nabla_{\theta_i} Q(s, a|\theta_i) \quad 19$$

2.6 PI parameter Optimization of Cuk Converter

There are many methods used in PI controller design such as Zeigler Nicholds, Amigo, pole assignment. In addition to these designs, optimization-based controller designs are also performed. In order to use optimization, an objective criterion or performance criterion must be determined. In this study, Integral square error is preferred as the performance criterion. This value is calculated as in equation 20. In practice, it is calculated as in Figure 4. Cheetah optimizer method used in the study tries to minimize the ISE performance criterion during the run time by optimizing both the K_p parameter and the K_i parameter of the PI controller.

$$ISE = \int_0^{T_s} e^2 dt = \int_0^{T_s} (V_{ref} - V_o)^2 dt \quad 20$$

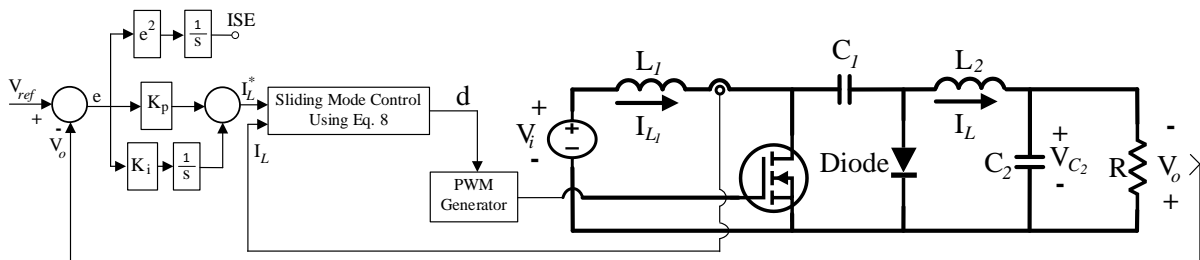


Figure 4. PI parameter optimization using cheetah optimization for Cuk Converter

For the adaptation of Cheetah Optimizer to this problem to determine the K_p and K_i parameters, the number of members used was chosen as 10 and the maximum number of iterations was 6000. In addition, the simulation was run for 0.25 seconds each time to calculate the ISE performance criterion.

2.5. Integration of Reinforcement Learning to PI Sliding Mode Control of Cuk Converter

The general framework created for the application of CUK Converter is given in Figure 4. As seen in Figure 4, action values are applied to the environment. This is the φ value, which is the parameters multiplied with K_i . According to this value, the Environment produces states and reward values. The generated values are taken by the agent again and the learning process is performed. In addition, the action value is produced according to the relevant situation and applied to the environment again. The states used in this environment are given in equation 21.

Actions are calculated in equation 22, the reward value is calculated in equation 23 and the done value is calculated as in equation 24.

$$State = \left[e_k, \frac{(z-1)}{T_s z} e_k, \frac{T_s}{z-1} e_k, \varphi z^{-1}, V_{ref} \right] \quad 21$$

$$Action = \varphi \quad 22$$

$$Reward = \begin{cases} -1 & ISE > ISE_{rl} \\ 1 & ISE \leq ISE_{rl} \end{cases} \quad 23$$

$$done = \begin{cases} 1 & V_o > 150 \\ 0 & else \end{cases} \quad 24$$

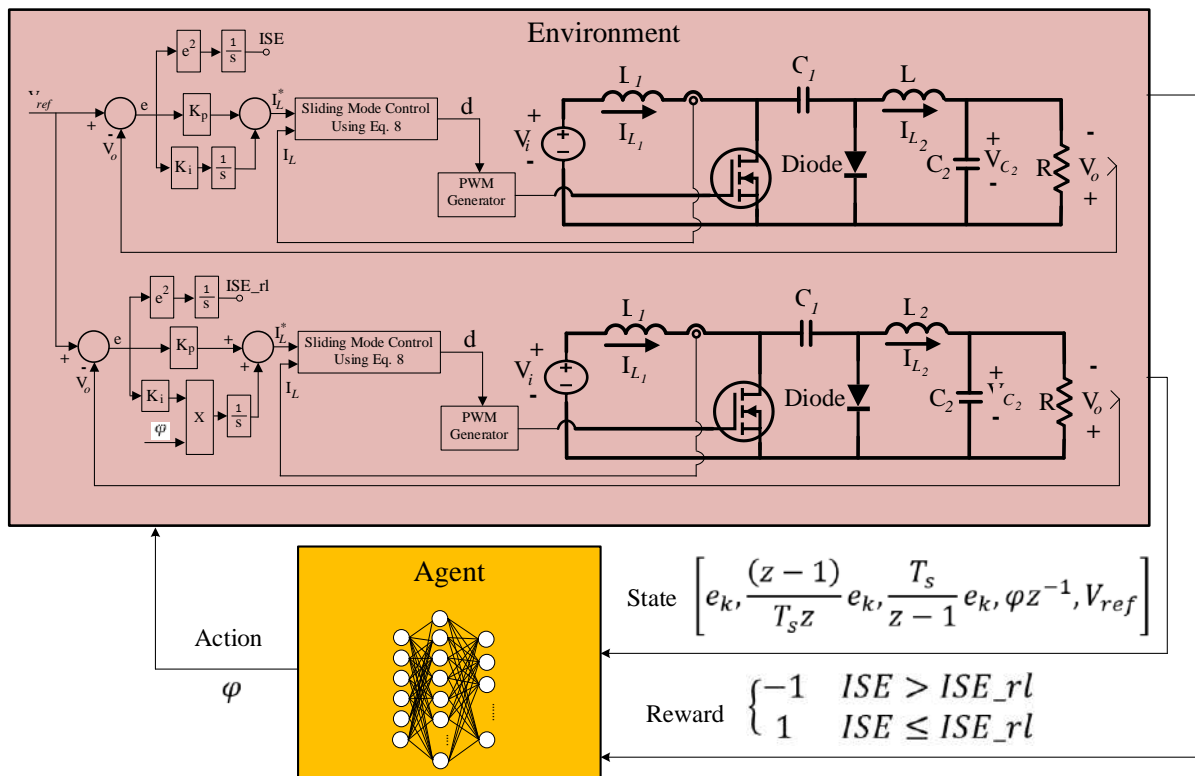


Figure 4. DQN implementation diagram of PI Sliding Mode Control of Boost converter environment

In the application, the parameters of the Cuk converter in the Environment are given in Table 1. The state and action values and ranges designed for the Environment are given in Table 2.

Table 1. Parameters Boost Converter

Component	Symbol	Value	Unit
Resistor	R	6	Ω
Inductor	L_1	5×10^{-6}	Henry
Inductor	L_2	5×10^{-6}	Henry
Capacitor	C_1	47×10^{-6}	Farad
Capacitor	C_2	1×10^{-6}	Farad
Switching Frequency	-	10000	Hz

Table 2. Action Space Ranges of Environment

	Parameter	Ranges
Action	φ	0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 1, 1.05, 1.1, 1.15, 1.2, 1.25, 1.3, 1.35, 1.4, 1.45, 1.5
State	e_k	-inf, inf
	$\frac{(z-1)}{T_s z} e_k$	-inf, inf
	$\frac{T_s}{z-1} e_k$	-inf, inf
	$e_{k-1} - e_{k-2}$	-inf, inf
	φz^{-1}	-inf, inf
	V_{ref}	-inf, inf

The DQN parameters used in reinforcement learning and the parameter values used for training are given in Table 3.

Table 3. DQN Parameters

Parameters	Parameter Value
Number of Layer	1000
Learning Rate	10^{-3}
GradientThreshold	1
SampleTime	0.001 sec
MiniBatchSize	10^{-4}
EpsilonDecay	10^{-4}
maxepisodes	500
StopTrainingCriteria	EpisodeCount

3. RESULTS

In this study, firstly, Cheetah Optimizer is applied to the CUK converter and the best values of the PI controller parameters according to the ISE performance criterion are calculated. Then, a reinforcement learning based structure is applied to improve the ISE performance by weighting the Ki parameter with a certain coefficient and successful results are obtained. The results are given in graphs and tables.

PI controller designed Cheetah Optimizer for the system then it was implemented. The designed controller parameters were determined as $K_p= 2.0164e-05$ $K_i= 70.7839$ Then, the DQN algorithm was arranged to control the environment and the training process was performed. The DQN algorithm applied the action values to the environment. The states produced by the environment and the reward values were taken and the DQN algorithm was trained. The reward values obtained during the iteration are given in Figure 5.

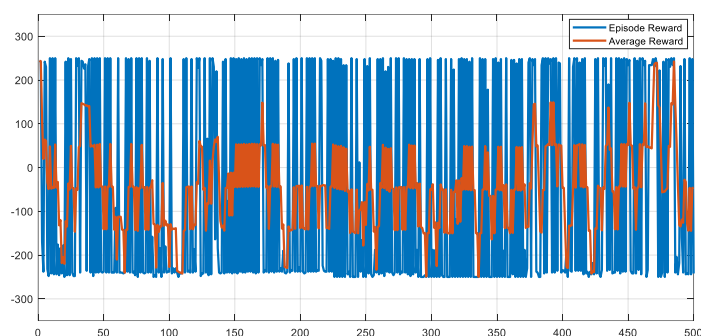


Figure 5. During training, episode reward and average reward values for each iteration

The results of the controlled Cuk Converter are given in Figure 6. As can be seen from the results, while the DQN algorithm carries the system to the desired reference value even at 20 voltage, conventional PI controller performed well between certain reference signals. The control signals generated for the Cuk Converter controlled according to both cases are given in Figure 7.

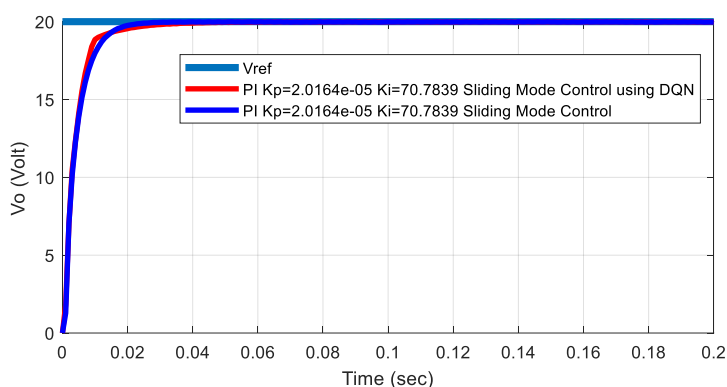


Figure 6. Cuk Converter output voltage for PI Sliding Mode Control and PI Sliding Mode Control using DQN

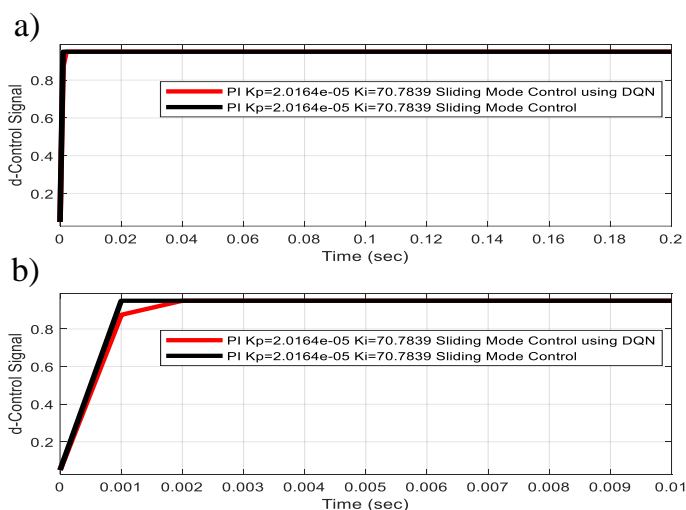


Figure 7. Cuk Converter control signal for PI Sliding Mode Control and PI Sliding Mode Control using DQN

In addition, the control parameters φ value produced by DQN are updated at each sampling moment. This value produced by DQN and environment are shown in Figure 8. Moreover ISE and reward values are depicted in Figure 9.

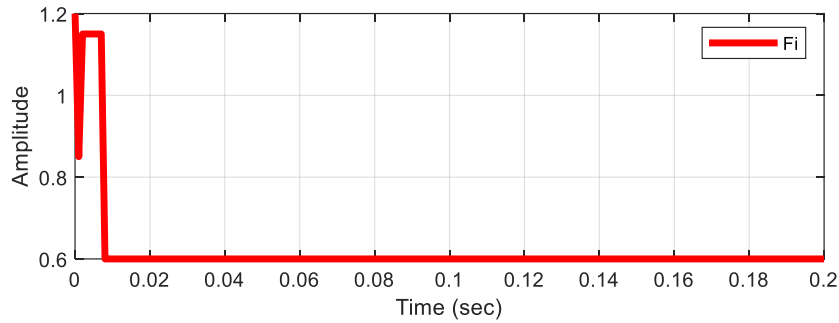


Figure 8. Kp and Ki parameter and reward values for PI Sliding Mode Control using DQN

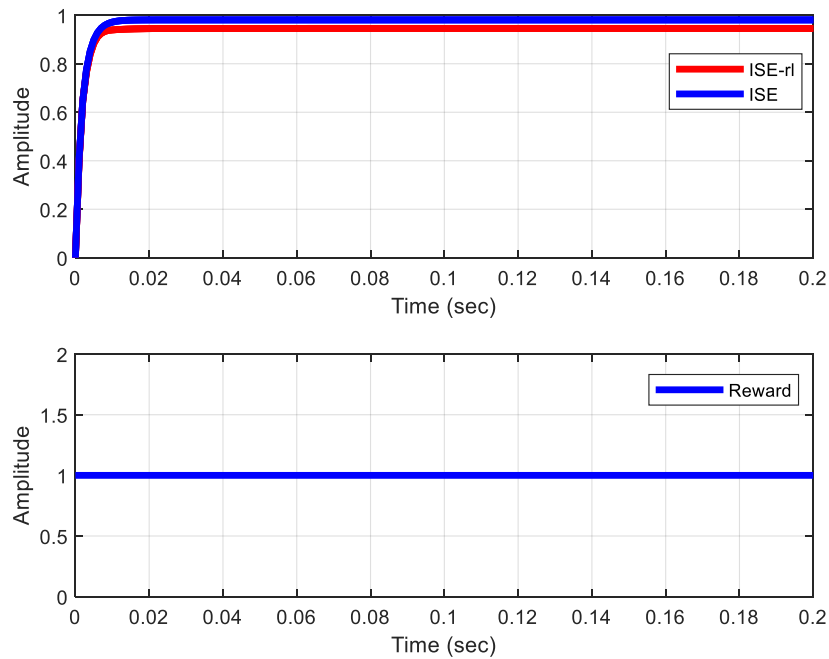


Figure 9. ISE and reward values

The performances of PI sliding mode control and PI sliding mode control using DQN methods for the Cuk converter were compared to the ISE performance values. The results are given in Table 4. As can be seen from the results, the proposed PI Sliding Mode Control using DQN method produced the lowest value and showed much better performance.

Table 4. ISE results of Cuk converter control

Method	ISE
PI Sliding Mode	0.9809
PI Sliding Mode using DQN	0.9458

4. CONCLUSION

In this study, the design of PI controller for the control of Cuk converter, which is a DC DC converter, is carried out. First, the coefficient of the PI controller is determined using the Cheetah optimization algorithm proposed in recent years. This is based on the ISE performance criterion. Then, in order to further improve the performance over the control period, DQN is integrated in the control parameterization to achieve better results in terms of ISE performance criterion. In future work, different performance criteria and other reinforcement learning methods will also be used to control the CUK converter.

REFERENCES

- [1] M. Çıkan, “Çita optimizasyon algoritması kullanarak kısmi gölgeleme altındaki fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası izleyicisinin tasarlanması,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 40, no. 1, pp. 555–572, 2025.
- [2] O. Güngör and H. İ. Yüksek, “Modeling of Boost and Cuk Converters and Comparison of Their Performance in MPPT,” *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, vol. 11, no. 1, pp. 83–101, 2020.
- [3] A. Laddha, K. Shah, and S. Neeli, “Model Prediction and Sliding Mode-based Controlling of the Cuk DC-DC Converter,” in *In 2022 IEEE 10th Power India International Conference (PIICON)*, 2022, pp. 1–5.
- [4] M. Çimen, Z. Garip, and A. Boz, “Chaotic flower pollination algorithm based optimal PID controller design for a buck converter,” *Analog Integr Circuits Signal Process*, 2021.
- [5] Z. Garip, M. E. Çimen, and A. F. Boz, “Fotovoltaik Modellerin Parametre Çıkarımı İçin Geliştirilmiş Bir Kaotik Tabanlı Balina Optimizasyon Algoritması,” *Journal of Polytechnic*, vol. 0900, pp. 0–2, 2021, doi: 10.2339/politeknik.878934.
- [6] F. Ahmad, A. Rasool, E. Ozsoy, A. Sabanovic, and M. Elitas, “Design of a robust cascaded controller for Cuk converter,” in *In 2016 IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC)*, 2016, pp. 80–85.
- [7] M. Thirumeni and D. Thangavelusamy, “Design and analysis of hybrid PSO–GSA tuned PI and SMC controller for DC–DC Cuk converter,” *IET Circuits, Devices & Systems*, vol. 13, no. 3, pp. 374–384, 2019.
- [8] U. Saha, S. Shahria, and A. B. Rashid, “Proximal Policy Optimization-Based Reinforcement Learning Approach for DC-DC Boost Converter Control: A Comparative Evaluation Against Traditional Control Techniques,” *arXiv preprint arXiv:2310.02945*.
- [9] Z. Chen, “PI and sliding mode control of a Cuk converter,” *IEEE Trans Power Electron*, vol. 27, no. 8, pp. 3695–3703, 2012.
- [10] B. Han, M. Kim, S. Lee, and J. S. Lee, “Dynamic Modeling and Integral Sliding Mode Controller Design for the Cuk Inverter,” in *In 2015 17th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE-Europe)*, 2015, pp. 1–9.
- [11] C. A. Ramos-Paja, D. González-Motoya, J. P. Villegas-Seballos, S. I. Serna-Garces, and R. Giral, “Sliding-mode controller for a photovoltaic system based on a Cuk converter,” *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, 2021.

- [12] M. Hajhosseini, M. Andalibi, M. Gheisarnejad, H. Farsizadeh, and M. H. Khooban, “DC/DC power converter control-based deep machine learning techniques: Real-time implementation,” *IEEE Trans Power Electron*, vol. 35, no. 10, pp. 9971–9977, 2020.
- [13] S. Sharma and V. Kumar, “Cheetah Optimizer for Multi-objective Optimization Problems,” 2023.
- [14] M. A. Akbari, M. Zare, R. Azizipanah-Abarghooee, S. Mirjalili, and M. Deriche, “The cheetah optimizer: A nature-inspired metaheuristic algorithm for large-scale optimization problems,” *Sci Rep*, vol. 12, no. 1, p. 10953, 2022.
- [15] M. E. , Çimen and Z. Garip, “Controlling a Single Tank Liquid Level System with Classical Control Methods and Reinforcement Learning Methods,” *Kocaeli Journal of Science and Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 30–41, 2024.
- [16] M. E. Çimen, Z. Garip, Y. Yalçın, M. Kutlu, and A. F. Boz, “Self Adaptive Methods for Learning Rate Parameter of Q-Learning Algorithm,” *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications*, vol. 6, no. 2, pp. 191–198, 2023.
- [17] J. Ye, H. Guo, S. Mei, Y. Hu, and X. Zhang, “A TD3 algorithm based reinforcement learning controller for DC-DC switching converters,” in *In 2023 International Conference on Power Energy Systems and Applications (ICoPESA)*, 2023, pp. 358–363.
- [18] C. Cui, N. Yan, and C. Zhang, “An Intelligent Control Strategy for buck DC-DC Converter via Deep Reinforcement Learning,” *arXiv preprint arXiv:2008.04542*.
- [19] H. Sasaki, T. Horiuchi, and S. Kato, “A study on vision-based mobile robot learning by deep Q-network,” in *In 2017 56th annual conference of the society of instrument and control engineers of Japan (SICE)*, pp. 799–804, 2017.
- [20] L. Tai and M. Liu, “A robot exploration strategy based on q-learning network,” in *In 2016 IEEE international conference on real-time computing and robotics (RCAR)*, 2016, pp. 57–62.
- [21] J. Panggabean, N. Sutisna, I. Syafalni, and T. Adiono, “Comparison of MPPT based on Deep Reinforcement Learning by DQN, DDPG and TD3,” in *In 2023 Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC)*, 2023, pp. 261–266.
- [22] C. J. Watkins and P. Dayan, “Q-learning,” *Mach Learn*, vol. 8, pp. 279–292, 1992.
- [23] A. O. Köroğlu, A. E. Edem, S. N. Akmeşe, Ö. Elmas, I. Tunc, and M. T. Soylemez, “Agent-Based Route Planning with Deep Q Learning,” in *13th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, 2021, pp. 403–407.
- [24] M. R. Evdüzen, “Derin pekiştirmeli öğrenme ile robot kol tork kontrolü,” Master’s thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2021.
- [25] U. Saha, A. Jawad, S. Shahria, and A. H. U. Rashid, “Proximal Policy Optimization-Based Reinforcement Learning Approach for DC-DC Boost Converter Control: A Comparative Evaluation Against Traditional Control Techniques,” *Heliyon*, 2024.
- [26] B. H. Demirbilek, A. S. Taşbaş, and N. K. Üre, “Attitude Control of a Gun Turret Platform with Reinforcement Learning,” in *In 2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2021, pp. 1–4.

SAĞLIKLI TÜRK POPÜLASYONUNDA SOD1 GENİNE AİT 50BP INS/DEL (RS36232792) VE RS2234694 POLİMORFİZMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

**M.Sc.Bio. FATIMA CEREN TUNÇEL^{1*}, TUĞÇE KARADAĞ^{2*}, ŞÜKRİYE BEYZA
KOPARAN^{3*}, Prof.Dr. SACİDE PEHLİVAN⁴**

^{1*} İstanbul Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı, fatimaceren.tuncel@gmail.com - ORCID ID: 0000-0001-6787-2565

^{2*} İstanbul Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı, Beykoparan@gmail.com - ORCID ID: 0009-0005-9513-5171

^{3*} İstanbul Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı, tugceroglu22@gmail.com - ORCID ID: 0009-0004-3472-4506

⁴ İstanbul Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı, sacide.pehlivan@istanbul.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-1272-5845

*İlk 3 araştırmacı eşit oranda çalışmaya destek vermiştir.

ÖZET

Süperoksit dismutaz (SOD), reaktif oksijen türlerinin ortadan kaldırılması için temel bir enzimdir. Memelilerde bilinen üç farklı SOD izoformu vardır. Bakır-çinko süperoksit dismutaz olan SOD1, sitozolde ve mitokondriyal intermembran boşlukta bulunur; tüm SOD aktivitesinin %50-80'ini oluşturur. SOD1 geni; insanlarda kromozom 21q22'de yer alır, 4 intron ve 5 eksondan oluşur. Genin promotör bölgesindeki 90'dan fazla mutasyonla birlikte, düzenleyici bölgeleri, UTR'leri ve intronlarında da çeşitli polimorfizmler tanımlanmıştır. En çok çalışılan polimorfizmlerden biri, intron ve ekzon 3 arasındaki birleşme bölgesindeki rs2234694 polimorfizmidir; AA genotipi SOD1 enzim aktivitesindeki artış, CC genotipi ise enzim aktivitesindeki azalışla ilişkilendirilmiştir. İkincisi, 50 bp'lik bir parçanın eklenmesi /silinmesiyle karakterize diğer bir polimorfizm 50 bp Ins/Del (rs36232792) olarak bilinir; SOD1 geninin promotör bölgesindeki ATG başlangıç kodonundan 1684 baz çifti (bp) yukarıda bulunur. Del aleli genin indirgeyici promotör aktivitesiyle ilişkilidir; bu durum ROS'un detoksifikasyon seviyesini değiştirebilir. ROS'un DNA ile yüksek etkileşimi nedeniyle, Ins/Del genetik polimorfizmi genom bütünlüğünün korunmasında bireyler arası farklılıklarda önemli rol oynayabilir. Bu çalışmada SOD1 genine ait rs36232792 ile rs2234694 fonksiyonel varyantlarının sağlıklı hem Türk popülasyonunda hem de kadın-erkek cinsiyeti arasında genotip ve allel araştırılmasını ve başka popülasyonlarda dağılımları ile karşılaştırmayı amaçladık.

Çalışmaya 110'u kadın, 84'ü erkek olmak üzere toplam 194 sağlıklı birey dahil edilmiştir. rs36232792 Ins/Del polimorfizmi PCR ile rs2234694 fonksiyonel gen varyantı ise PCR-RFLP yöntemiyle analiz edildi. Sağlıklı Türk popülasyonundaki bireylere ait hem rs36232792 için; genotip (%79,9, %19,1, %1) ve allel frekansı (%89,4, %10,6) hemde rs2234694 fonksiyonel gen varyantı için; genotip (% 93,3, % 6,2, % 0,5) ve allel (%96,4, %3,6) frekansları arasında

anlamli bir farklılık bulunmadı. Her 2 gen varyantında kadın-erkek bireylerin allel ve genotipleri karşılaştırıldığında cinsiyet açısından anlamli bir farklılık bulunmadığı görüldü.

Sonuç olarak; elde edilen veriler ışığında Türk popülasyonundaki 194 sağlıklı bireyde SOD1 genine ait genotip ve allel sıklıkları belirlenmiş, ülkemizdeki sağlıklı popülasyonlar literatürdekilerle karşılaştırıldığında benzer sonuçlar saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sağlıklı Türk popülasyonu, SOD1, rs2234694, I/D, DNA, PCR/PCR-RFLP.

INVESTIGATION OF 50BP INS/DEL (RS36232792) AND RS2234694 POLYMORPHISM OF SOD1 GENE IN HEALTHY TURKISH

M.Sc.Bio. FATIMA CEREN TUNÇEL ^{1*}, TUĞÇE KARADAĞ ^{2*}, ŞÜKRİYE BEYZA
KOPARAN ^{3*}, Prof.Dr. SACİDE PEHLİVAN ⁴

^{1*} Istanbul University, Faculty of Medicine, Institute of Health Sciences, Department of Medical Biology, fatimaceren.tuncel@gmail.com - ORCID ID: 0000-0001-6787-2565

^{2*} Istanbul University, Faculty of Medicine, Institute of Health Sciences, Department of Medical Biology, Beykoparan@gmail.com - ORCID ID: 0009-0005-9513-5171

^{3*} Istanbul University, Faculty of Medicine, Institute of Health Sciences, Department of Medical Biology, tugceroglu22@gmail.com - ORCID ID: 0009-0004-3472-4506

⁴ Istanbul University, Faculty of Medicine, Department of Medical Biology, sacide.pehlivan@istanbul.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-1272-5845

*The first 3 researchers provided equal support for the study.

ABSTRACT

Superoxide dismutase (SOD) is an essential enzyme for the removal of reactive oxygen species. There are three known SOD isoforms in mammals. SOD1, a copper-zinc superoxide dismutase, is found in the cytosol and the mitochondrial intermembrane space; it accounts for 50-80% of all SOD activity. The SOD1 gene is located on chromosome 21q22 in humans and consists of 4 introns and 5 exons. More than 90 mutations in the promoter region of the gene, as well as various polymorphisms in its regulatory regions, UTRs, and introns, have been identified. One of the most studied polymorphisms is the rs2234694 polymorphism in the junction region between intron and exon 3; the AA genotype is associated with increased SOD1 enzyme activity, while the CC genotype is associated with decreased enzyme activity. Secondly, another polymorphism characterized by the insertion/deletion of a 50 bp fragment is known as 50 bp Ins/Del (rs36232792); it is located 1684 base pairs (bp) upstream of the ATG start codon in the promoter region of the SOD1 gene. The Del allele is associated with the reductive promoter

activity of the gene; this may alter the detoxification level of ROS. Due to the high interaction of ROS with DNA, the Ins/Del genetic polymorphism may play an important role in interindividual differences in maintaining genome integrity. In this study, we aimed to investigate the genotypes and alleles of the functional variants of rs36232792 and rs2234694 of the SOD1 gene in both the healthy Turkish population and between female and male genders and to compare them with their distributions in other populations. A total of 194 healthy individuals, 110 female and 84 male, were included in the study. The rs36232792 Ins/Del polymorphism was analyzed by PCR and the rs2234694 functional gene variant was analyzed by PCR-RFLP method. No significant difference was found between the genotype (79.9%, 19.1%, 1%) and allele frequency (89.4%, 10.6%) for rs36232792 and the genotype (93.3%, 6.2%, 0.5%) and allele (96.4%, 3.6%) frequencies for the functional gene variant rs2234694 in the healthy Turkish population. When the alleles and genotypes of male and female individuals were compared in both gene variants, it was seen that there was no significant difference in terms of gender.

As a result; in the light of the obtained data, the genotype and allele frequencies of the SOD1 gene were determined in 194 healthy individuals in the Turkish population, and similar results were found when the healthy populations in our country were compared with those in the literature.

Keywords: Healthy Turkish population, SOD1, rs2234694, I/D, DNA, PCR/PCR-RFLP.

1. GİRİŞ ve GENEL BİLGİ

Reaktif oksijen türleri (ROS), aerobik metabolizmanın doğal bir yan ürünü olup hücrel homeostaziye bozar ve oksidatif strese yol açar. ROS, mitokondriyal metabolizma ve hücrel yanıtlar gibi biyolojik süreçlerle üretilir ve hücrel bileşenlere zarar verebilir. Süperoksit Dismutaz (SOD) enzim ailesi, özellikle Cu/Zn SOD1 ve Mn içeren SOD2, oksidatif strese karşı savunmanın ilk hattını oluşturur. Cu, Zn-süperoksit dismutaz (SOD1), bakır ve çinko iyonlarını bağlayan ve oksidatif strese karşı savunmada önemli bir rol oynayan bir metaloenzimdir; hücrede yaygın olarak bulunur ve toplam SOD aktivitesinin %80'ini sağlar. İnsan SOD1, süperoksit seviyelerini düzenlerken, oksidatif strese yanıt olarak nükleer gen transkripsiyonunu aktive eder, RNA metabolizmasını düzenler ve glikoz algılama yolunu modüle eder. SOD1 geni, Kromozom 21q22.11 üzerinde bulunur ve en çok çalışılan polimorfizmlerden biri, AA genotipiyle SOD1 enzim aktivitesindeki artış ve CC genotipiyle azalmayı ilişkilendiren rs2234694 (+35A/C) SNP polimorfizmidir. Ayrıca, SOD1 geninin promotör bölgesinde 50 bp ekleme/silme (I/D) polimorfizmi tanımlanmış olup, bu bölge birçok transkripsiyon faktörü bağlanma bölgesi içerir ve SP1'in bu bölgeye bağlandığı gösterilmiştir. Bu polimorfizm, hücrelerde azalmış promotör aktivitesi ve düşük mRNA seviyeleriyle ilişkilidir.

Bu çalışmada SOD1 genine ait rs36232792 ile rs2234694 fonksiyonel varyantlarının hem sağlıklı Türk popülasyonunda hem de kadın-erkek cinsiyeti arasında genotip ve allel araştırılmasını ve başka popülasyonlarda dağılımları ile karşılaştırmayı amaçlanmıştır.

1.1.Reaktif Oksijen Türleri (ROS)

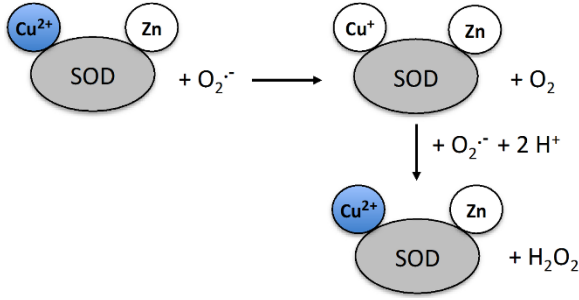
ROS, moleküler oksijenden türeyen çeşitli moleküllere ve serbest radikallere verilen genel bir isimdir (1). Biyolojik bağlamda ROS, hücrel aerobik metabolizmanın doğal bir yan ürünü olarak oluşur ve hücrel sinyalizasyona katılır. Mitokondriyal solunum, ROS oluşumunun önemli bir nedenidir ve ROS seviyelerindeki artış hücre homeostazisi, yapıları ve işlevleri üzerinde zararlı etkilere sahiptir ve oksidatif strese neden olur. Bu nedenle hücrel redoks dengesinin bozulması çeşitli patolojilerin gelişimi için bir risk faktörüdür (2,3). Hücrel ROS kaynağı genel olarak iki ana kategoriye ayrılabilir: Birinci esas olarak mitokondriyal oksidatif metabolizma olmak üzere, ROS' u çeşitli diğer gerekli reaksiyonların bir yan ürünü veya atık ürünü olarak serbest bırakan biyolojik süreçlerdir; ikinci ksenobiyotiklere, sitokinlere ve bakteriyel istilaya hücrel yanıt olarak, moleküler sentezde veya parçalanmada, bir sinyal iletim yolunun parçası olarak veya bir hücre savunma mekanizmasının parçası olarak kasıtlı olarak ROS üreten süreçlerdir. Oksijen serbest radikalleri oldukça reaktiftir ve proteinler, lipitler ve nükleik asitler gibi hücrel bileşenlere zarar verme kapasitesine sahiptir (4).

1.2.Süperoksit Dismutaz (SOD)

Aerobik organizmalar, oksidatif stresten kurtulmak ve redoks homeostazını sürdürmek için gelişmiş savunma sistemi geliştirmiştir. Bu savunma sistemleri, enzimatik ve enzimatik olmayan mekanizmaları içerir. Enzimatik antioksidanlar arasında süperoksit dismutaz (SOD), katalaz ve glutatyon peroksidaz öne çıkar. Memelilerde, SOD ailesi üç izoform içerir: 1.Cu/ZnSOD (SOD1), 2.MnSOD (SOD2) ve 3.ECSOD (SOD3). Bu izoformlar, farklı genler tarafından kodlanmakta ve farklı birimlerde lokalizasyonlara sahip olmaktadır (5).

1.2.1 Cu/Zn-Süperoksit Dismutaz (SOD1)

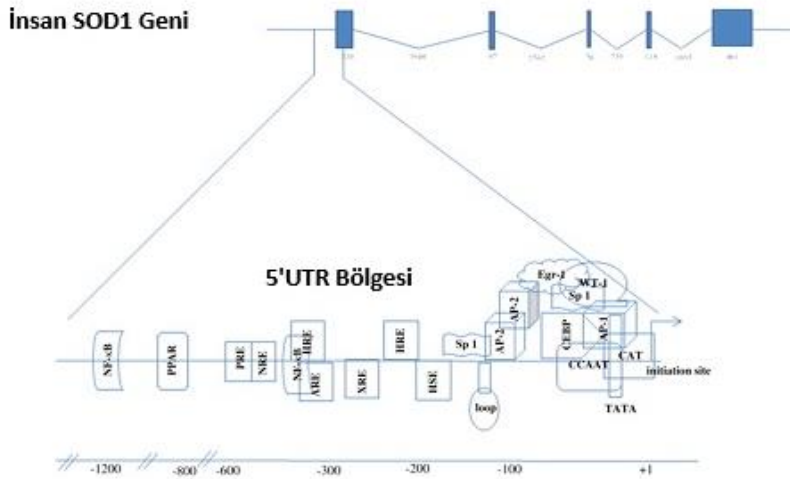
Cu, Zn-süperoksit dismutaz (SOD1), bakır ve çinko iyon kofaktörlerini bağlar ve sitoplazmada bulunan üç SOD izoenziminden biridir. SOD1, doku üzerindeki oksidatif strese karşı savunmada önemli bir rol oynar; süperoksit radikallerini (O_2) hidrojen perokside dönüştür ve bu reaksiyonun daha sonra suya indirgenmesini katalizleyerek etki gösterir (Görsel 1.) (6). Tüm memeliler (insanlar dahil) süperoksit dismutazın üç izoformuna sahiptir (7). Bu enzimler arasında genetik ve yapısal değişiklikler mevcuttur. Örneğin, SOD1 ve SOD3 amino asitlerinin özelliklerinde belirli bir homoloji gösterirken, SOD2 bu iki izoform ile düşük düzeyde homolojiye sahiptir. Bu farklılıklar, bu enzimlerin ürettiği stresle başa çıkmada birbirinden bağımsız performansların üstlenmesini sağlar (5). SOD1'in hemen hemen tüm ökaryotik türlerin antioksidan savunmasında önemli bir homodimerik metaloenzim olarak var olduğu ve hücrede yaygın olarak dağılmış olup toplam SOD aktivitesinin %80'ini sağlayan temel bir antioksidan enzim olduğu iyi bilinmektedir (8).



Görsel 1. SOD'un Oksidasyon Mekanizması (10).

SOD1 Geninin Genetik Yapısı ve Organizasyonu

SOD1 geninin özellikleri kemirgenlerde, sığırlarda ve insanlarda tanımlanmıştır (5). İnsan SOD1, her bir monomerin 153 amino asitten (15,8 kDa) oluştuğu 32 kDa homodimerik bir proteindir; kromozom 21'de (bölge 21q22) bulunan SOD1 geni dört intron ve beş ekzondan oluşur (6-9) (Görsel 2.). Human SOD1 (hSOD1), mitokondriyal zar arası alan, sitoplazma ve peroksizomdan kaynaklanan süperoksit seviyelerini düzenlemekten sorumludur. Bir antioksidan enzim olmasının yanı sıra, hSOD1 proteininin oksidatif strese maruz kaldıktan sonra nükleer gen transkripsiyonunun aktivasyonu, RNA metabolizmasının düzenlenmesi ve glikoz algılama yolunun modülasyonu ile solunumu baskılama gibi yeni fonksiyonları da bildirilmiştir (6).



Görsel 2. SOD1 Geninin Organizasyonu (5) (SOD1 promotörü, TATA kutusu ve CCAAT kutusu ile birlikte GC açısından zengin bir bölgeye sahiptir).

Genin promotör bölgesindeki 90'dan fazla mutasyonla birlikte, düzenleyici bölgeleri, UTR'leri ve intronlarında da çeşitli polimorfizmler tanımlanmıştır. En çok çalışılan polimorfizmlerden biri, intron ve ekzon 3 arasındaki birleşme bölgesindeki rs2234694 polimorfizmidir. 50 bp'lik bir parçanın eklenmesi/silinmesiyle karakterize diğer bir polimorfizm 50 bp Ins/Del (rs36232792) olarak bilinir (11).

SOD1 rs2234694 (+35A/C) Polimorfizmi

SOD1 geni Kromozom 21q22.11 üzerinde yer alır; en çok çalışılanlardan polimorfizmlerden biri, intron ve ekson 3 arasındaki bağlantı noktasında bulunan, AA genotipinin neden olduğu SOD1 enzim aktivitesindeki artış ve CC genotipinin enzimatik aktivite azalmasıyla ilişkilendirilen SNP (tek nükleotid polimorfizmi) rs2234694 (+35A/C) polimorfizmidir. rs2234694 polimorfizminin bildirilen sıklığı, çalışılan popülasyona bağlıdır (11). rs2234694 polimorfizmi, Görsel 3'a da Haplo-Reg4.1 ve Görsel 4'a da rSNPBase veri tabanları kullanılarak analiz edilmiştir.

SOD1 rs36232792 50 bp Ekleme/Silme (I/D) Polimorfizmi

SOD1 geninin promotör bölgesinde 50 bp ekleme/silme (I/D) polimorfizmi (ATG başlangıç kodununun 1684 bp yukarısında) adı verilen işlevsel bir polimorfizm tanımlanmıştır (9). Yapılan çalışmalarda, 50 bp'lik silinmiş bölgenin çok sayıda transkripsiyon faktörü bağlanma bölgesi içerdiğini ve bir transkripsiyon faktörü olan SP1'in bu bölgeye bağlandığını gösterilmiştir (14). Bu polimorfizmin hücrelerde azalmış promotör aktivitesi ve düşük mRNA seviyeleriyle ilişkili olduğu gösterilmiştir (15). rs36232792 polimorfizmi, Görsel 3'b de Haplo-Reg4.1 ve Görsel 4'b de rSNPBase veri tabanları kullanılarak analiz edilmiştir.

Query SNP: rs36232792 and variants with $r^2 \geq 0.8$

chr	pos (hg38)	LD (r)	LD (D)	variant	Ref	Alt	AFR freq	AMR freq	ASN freq	EUR freq	SIphy cons	Promoter histone marks	Enhancer histone marks	DNase	Proteins bound	Motifs changed	NHGRI/EBI GWAS hits	GRASP QTL hits	Selected eQTL hits	GENCODE genes	dbSNP func annot
21	31665035	1	1	rs36232792	G	G						5 tissues	5 tissues	BLD,PLCNT,LIV		12 altered motifs				AP000253.1	

a)

Query SNP: rs2234694 and variants with $r^2 \geq 0.8$

chr	pos (hg38)	LD (r)	LD (D)	variant	Ref	Alt	AFR freq	AMR freq	ASN freq	EUR freq	SIphy cons	Promoter histone marks	Enhancer histone marks	DNase	Proteins bound	Motifs changed	NHGRI/EBI GWAS hits	GRASP QTL hits	Selected eQTL hits	GENCODE genes	dbSNP func annot
21	31665552	1	1	rs2234694	A	C	0.00	0.01	0.00	0.06		13 tissues	SKIN		MAFK					SOD1	intronic

b)

Görsel 3. SOD1 genine ait rs2234694 ve rs36232792 polimorfizmlerinin Haplo-Reg4.1 veri tabanı analizleri (12).

Rs_ID	Chromosome	Allele	Related regulatory elements	Target genes	rSNP or LD-proxies	eQTL	Related/ associated disease
rs2234694	chr21:33038865	A/C	circRNA region Chromatin interactive region TF binding region	2 gene(s)	rSNP	Y	N

a)

Rs_ID	Chromosome	Allele	Related regulatory elements	Target genes	rSNP or LD-proxies	eQTL	Related/ associated disease
rs36232792	chr21:33030349	lengthTooLong	TF binding region	1 gene(s)	rSNP	N	N

b)

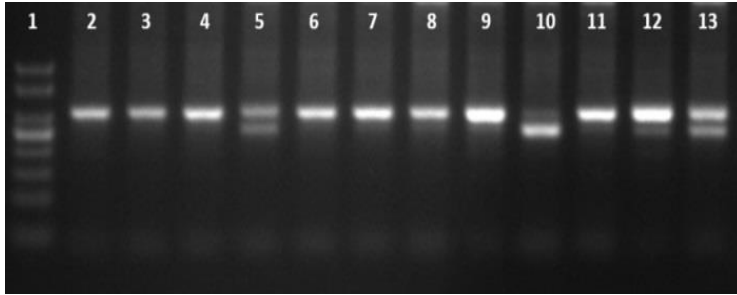
Görsel 4. SOD1 genine ait rs2234694 ve rs36232792 polimorfizmlerinin rSNPBase veri tabanı analizleri (13).

2. MATERYAL ve METOD

Çalışmaya 110'u kadın, 84'ü erkek olmak üzere Türk popülasyonundan toplam 194 sağlıklı birey dahil edildi. 4ml'lik EDTA'lı tüplere alınan kanlardan önce lökosit izolasyonu, elde edilen lökositlerden de ticari kit ile genomik DNA izole edildi. SOD1 geni rs36232792 polimorfizmi polimeraz zincir reaksiyonu (PCR), rs2234694 fonksiyonel varyantı ise polimeraz zincir reaksiyonu-restriksiyon parça uzunluk polimorfizmi (PCR-RFLP) yöntemiyle analiz edildi.

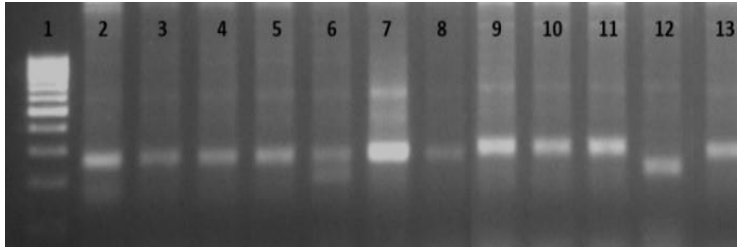
SOD1 *rs36232792* için primer dizileri; Forward: 5-AATTCCTTACCCCTGTTCTA-3 Reverse: 5-GGCAGATTTTCAGTTCATTGT-3, PCR protokolü: 94°C'de 5 dakika, 94°C'de 20 saniye, 54°C'de 30 saniye, 68°C'de 40 saniye , 35 döngü ve 68°C'de 5 dakika şeklinde uygulandı. Amplifikasyonlu PCR ürünü 45 dakika boyunca 110 V'da %3'lük agaroz jel üzerinde ayrıldı. Genotipler, I/I genotipi 297 baz çifti (bp), D/D genotipi 247 bp ve iki banttıan oluşan I/D genotipi 297 ve 247 bp olarak tespit edildi (15)(Görsel 5.).

SOD1 *rs2234694* için primer dizileri ise; Forward: 5-CTA TCC AGA AAA CAC GGT GGG CC-3 Reverse: 5-TCT ATA TTC AAT CAA ATG CTA CAA AAC-3, PCR protokolü: 94°C'de 5 dakika, 94°C'de 20 saniye, 54°C'de 30 saniye, 72°C'de 40 saniye , 35 döngü ve 72°C'de 5 dakika şeklinde uygulandı. Amplifikasyonlu PCR ürünü *HhaI* restriksiyon enzimi ile 37°C 4 saat kesildi. Kesim ürünleri 45 dakika boyunca 110 V'da %3'lük agaroz jel üzerinde ayrıldı. Genotipler, AA genotipi 278 bp, CC genotipi 207,71 bp ve AC genotipi 278, 207, 71 bp olarak tespit edildi (16)(Görsel 6.). Elde edilen sonuçlar ki-kare testi ile analiz edildi.



Görsel 5. SOD1 *rs36232792* amplifikasyon ürünleri

1:100 bp Belirteç, 2,3,4,6,7,8,9,11,12: I/I (297 bp) 10: D/D (247 bp), 5,13: I/D (297, 247 bp)



Görsel 6. SOD1 *rs2234694* PCR ve kesim ürünleri

1:100 bp Belirteç, 2: PCR ürünü (278 bp), 3,4,5,7,8,9,10,11, 13: AA (278 bp), 12: CC (207, 71 bp), 6: AC (278, 207, 71 bp)

3. SONUÇLAR

SOD1 geni için Türk popülasyonundaki sağlıklı bireylere ait *rs36232792* ins/del genotip (I/I, I/D, D/D) yüzdeleri sırasıyla: %79,9, %19,1, %1 iken (Çizelge 1.) kadın ve erkekler karşılaştırıldıklarında genotipler kadın bireylerde; %80,9, %19,1, %0 erkek bireylerde; %78,6, %19, %2,4 olarak saptanmıştır. Kadın ve erkek bireyler genotip ve allel sıklığı açısından karşılaştırıldığında hem genotip (p: 0,2656) hem de allel sıklığı açısından anlamlı bir ilişkinin olmadığı (p:0,4538) saptanmıştır (Çizelge 2.).

Çizelge 1. SOD1 *rs36232792* genotip ve allel yüzdeleri

SOD1 <i>rs 36232792</i>	Kontrol N (%)
I/I	155 (% 79,9)
I/D	37 (% 19,1)
D/D	2 (% 1)
I	347 (% 89,4)
D	41 (% 10,6)

Çizelge 2. SOD1 *rs36232792* genotip ve allel sıklıklarının kadın ve erkek bireylerde karşılaştırılması

SOD1 <i>rs 36232792</i>	Kadın N (%)	Erkek N (%)	P
I/I	89 (% 80,9)	66 (% 78,6)	0,2656
I/D	21 (% 19,1)	16 (% 19)	
D/D	0 (% 0)	2 (% 2,4)	
I	199 (% 90,5)	148 (% 88,1)	0,4538
D	21 (% 9,5)	20 (% 11,9)	

SOD1 *rs2234694* fonksiyonel gen varyantı için bakıldığında ise genotip (AA, AC, CC) yüzdeleri sırasıyla: % 93,3, % 6,2, % 0,5 iken (Çizelge 3.) kadın ve erkekler karşılaştırıldıklarında genotipler kadın bireylerde; % 93,6, % 6,4, % 0 erkek bireylerde; % 92,9, % 5,6, % 1,2 olarak saptanmıştır. Kadın ve erkek bireyler karşılaştırıldığında hem genotip (p: 0,5154) hem de allel sıklığı açısından anlamlı bir ilişkinin olmadığı (p:0,6063) saptanmıştır (Çizelge 4.).

Çizelge 3. SOD1 *rs2234694* fonksiyonel varyantı genotip ve allel yüzdeleri

SOD1 <i>rs 2234694</i>	Kontrol N (%)
AA	181 (% 93,3)
AC	12 (% 6,2)
CC	1 (% 0,5)
A	374 (% 96,4)
C	14 (% 3,6)

Çizelge 4. SOD1 *rs2234694* fonksiyonel varyantı genotip ve alel sıklıklarının kadın ve erkek bireylerde karşılaştırılması

SOD1 <i>rs 2234694</i>	Kadın N (%) 110	Erkek N (%) 84	P
AA	103 (% 93,6)	78 (% 92,9)	0,5154
AC	7 (% 6,4)	5 (% 5,9)	
CC	0 (% 0)	1 (% 1,2)	
A	213 (% 96,8)	161 (% 95,8)	0,6063
C	7 (% 3,2)	7 (% 4,2)	

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada, SOD1 genine ait *rs36232792* ve *rs2234694* varyantlarının Türk popülasyonu çalışmaları ve farklı ülke popülasyonlardaki sağlıklı bireylerin genotip ile alel dağılımları incelenmiştir. Nursel ve arkadaşlarının *rs36232792* polimorfizmiyle yaptığı çalışmanın (I/I %79,9, I/D %19,1, D/D %1) (16) genotip dağılımıyla verilerimiz arasında tutarlılık gözlemlenmiştir. Farklı ülkelerdeki sağlıklı bireylerin SOD1 *rs36232792* genotiplerinin dağılımı İran (I/I %73,8, I/D %23,6, D/D %2,6) (19), İtalya (I/I %70,2, I/D %26,5, D/D %3,3) (21) ve Meksika (I/I %71, I/D %27, D/D %2) (11) popülasyonlarındaki veriler verilerimizle tutarlıken, I/I genotip dağılımı Hint popülasyonunda (I/I %92, I/D %8, D/D %0) (22) verilerimize kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Büyük Britanya (I/I %66,2, I/D %30,8, D/D %3) ve Kuzey Amerika (I/I %67,2, I/D %30,1, D/D %2,7) (23) popülasyonlarında ise verilerimizden farklı olarak daha yüksek I/D ve D/D genotip dağılımları gözlemlenmiştir. Ülkelere ait SOD1 *rs36232792* genotip ve alel frekanslarının dağılımları Çizelge 5. da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 5. Farklı ülkelerin sağlıklı popülasyonlarında SOD1 *rs36232792* genotip ve alel yüzdelerinin karşılaştırılması

SOD1 <i>rs36232792</i>	I/I	I/D	D/D	I	D	Kaynak
Çalışmamıza ait Sonuçlar (Türkiye) N (%)	155 (79,9)	37 (19,1)	2 (1)	347 (19,1)	41 (10,6)	
Türkiye N (%)	92 (65,7)	40 (28,6)	8 (5,7)	224 (80)	56 (20)	16
Hindistan N (%)	184 (92)	16 (8)	0 (0)	384 (96)	16 (4)	22
İran N (%)	590 (73,8)	188 (23,6)	21 (2,6)	1368 (85,6)	230 (14,4)	19
İtalya N (%)	172 (70,2)	65 (26,5)	8 (3,3)	409 (83,5)	81 (16,5)	21

Meksika N (%)	314 (71)	119 (27)	10 (2)	747 (84,3)	139 (15,7)	11
Büyük Britanya N (%)	359 (66,2)	167 (30,8)	16 (3)	885 (68,9)	399 (31,1)	23
Kuzey Amerika N (%)	353 (67,2)	158 (30,1)	14 (2,7)	864 (82,3)	186 (17,7)	23

Polat ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada rs2234694 fonksiyonel varyantına ait (AA %99,3, AC %0,7, CC %0) (18) genotip dağılımıyla verilerimiz arasında tutarlılık gözlemlenmiştir. Farklı ülkelerdeki sağlıklı bireylerin SOD1 rs2234694 genotiplerinin dağılımı Güney Asya (AA %98,8, AC %1,2, CC %0) (19), Meksika (AA %99, AC %1, CC %0) (11) ve Afrika (AA %99,8, AC %0,2, CC %0) (19) popülasyonlarındaki veriler verilerimizle tutarlıyken, AC genotipinin daha yaygın olduğu Avrupa (AA %88,5, AC %11,5, CC %0) (19) ve Amerika (AA %96,3, AC %3,7, CC %0) (19) popülasyonlarına kıyasla AA genotipi çalışmamızda daha yüksek frekanslar göstermiştir. Benzer şekilde, Tunuslu sağlıklı bireylerin genotip dağılımı ise (AA %94,4, AC %5,6, CC %0) (20) Avrupa popülasyonlarına daha yakın frekanslar göstermiştir. Ülkelere ait SOD1 rs2234694 genotip ve alel frekanslarının dağılımları Çizelge 6. da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 6. Farklı ülkelerin sağlıklı popülasyonlarında SOD1 rs2234694 fonksiyonel varyantının genotip ve alel yüzdelerinin karşılaştırılması

SOD1 rs36232792	AA	AC	CC	A	C	Kaynak
Çalışmamıza ait Sonuçlar (Türkiye) N (%)	103 (93,6)	7 (6,4)	0 (0)	213 (96,8)	7 (3,2)	
Türkiye N (%)	147 (99,3)	1 (0,7)	0 (0)	295 (99,6)	1 (0,4)	18
Avrupa N (%)	445 (88,5)	58 (11,5)	0 (0)	948 (94,2)	58 (5,8)	19
Tunus N (%)	201 (94,4)	12 (5,6)	0 (0)	414 (97,2)	12 (2,8)	20
Güney Asya N (%)	483 (98,8)	6 (1,2)	0 (0)	972 (99,4)	6 (0,6)	19
Meksika N (%)	574 (99)	8 (1)	0 (0)	1156 (99,3)	8 (0,7)	11
Afrika N (%)	660 (99,8)	1 (0,2)	0 (0)	1321 (99,9)	1 (0,1)	19
Amerika	334	13	0	681	13	19

N (%)	(96,3)	(3,7)	(0)	(98,1)	(1,9)	
-------	--------	-------	-----	--------	-------	--

SOD1'in hemen hemen tüm ökaryotik türlerin antioksidan savunmasında önemli bir enzim olduğu iyi bilinmektedir. Çalışmamızda sağlıklı türk popülasyonunda incelenen *rs2234694* ve *rs36232792* varyantları açısından genotip, alel dağılımları ve kadın- erkek cinsiyeti arasında herhangi anlamlılık bulunmazken verilerimiz, Türkiyede yapılan diğer çalışmalar ile uyumludur. Farklı ülke popülasyonlarına ait çalışmalara baktığımızda ise genotip ve alel dağılımları açısından ciddi farklılıklar gözlenmemiştir. *rs2234694* fonksiyonel gen varyantında AA genotipi SOD1 aktivitesinde artışla ilişkilidir. Hem türk hem de farklı ülkelere ait sağlıklı bireyler ile yapılan popülasyon çalışmalarında elde edilen sonuçlarda AA genotipinin fazla olması durumu doğrular niteliktedir. *rs36232792* ekleme/silme polimorfizminde Del alelinin varlığı genin promotör aktivitesini düşürür. Hem türk hem de farklı ülkelere ait sağlıklı bireyler ile yapılan popülasyon çalışmalarında elde edilen sonuçlarda Del aleli İns aleline kıyasla çok daha az bulunmaktadır.

Sonuç olarak; yaptığımız bu popülasyon çalışmasının hem literatüre katkı sağlamasını hem de Türkiyede yapılacak diğer çalışmalar için bir referans olmasını umut ediyoruz.

KAYNAKÇA

- 1- Covarrubias, L., Hernández-García, D., Schnabel, D., Salas-Vidal, E., & Castro-Obregón, S. Function of reactive oxygen species during animal development: passive or active?, *Developmental biology*, 320(1), 2008.
- 2- Juan, C. A., Pérez de la Lastra, J. M., Plou, F. J., & Pérez-Lebeña, E. The chemistry of reactive oxygen species (ROS) revisited: outlining their role in biological macromolecules (DNA, lipids and proteins) and induced pathologies, *International journal of molecular sciences*, 22(9), 2021.
- 3- Snezhkina, A. V., Kudryavtseva, A. V., Kardymon, O. L., Savvateeva, M. V., Melnikova, N. V., Krasnov, G. S., & Dmitriev, A. A. ROS generation and antioxidant defense systems in normal and malignant cells, *Oxidative medicine and cellular longevity*, 1, 2019.
- 4- Zhang, J., Wang, X., Vikash, V., Ye, Q., Wu, D., Liu, Y., & Dong, W. ROS and ROS-mediated cellular signaling, *Oxidative medicine and cellular longevity*, 1, 2016.
- 5- Miao, L., & Clair, D. K. S. Regulation of superoxide dismutase genes: implications in disease, *Free Radical Biology and Medicine*, 47(4), 2009.
- 6- Smietana, M. J., Arruda, E. M., Faulkner, J. A., Brooks, S. V., & Larkin, L. M. Reactive oxygen species on bone mineral density and mechanics in Cu, Zn superoxide dismutase (SOD1) knockout mice, *Biochemical and biophysical research communications*, 403(1), 2010.
- 7- Eleutherio, E. C. A., Magalhães, R. S. S., de Araújo Brasil, A., Neto, J. R. M., & de Holanda Paranhos, L. SOD1, more than just an antioxidant, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 697, 2021.
- 8- Li, X., Chen, Y., Zhao, J., Shi, J., Wang, M., Qiu, S., & Liu, C. The specific inhibition of SOD1 selectively promotes apoptosis of cancer cells via regulation of the ROS signaling network, *Oxidative medicine and cellular longevity*, 1, 2019.
- 9- Nacar, M. C., & Yigit, S. Lack of association of superoxide dismutase I/D variant with osteopenia/osteoporosis in Turkish postmenopausal women, *Nucleosides, Nucleotides & Nucleic Acids*, 42(9), 2023.
- 10- Franco, M. C., Dennys, C. N., Rossi, F. H., & Estévez, A. G. (2013). Superoxide dismutase and oxidative stress in amyotrophic lateral sclerosis, *Current Advances in Amyotrophic Lateral Sclerosis*, 2013.
- 11- Gallegos-Arreola M. P., Ramirez-Hernández M. A., Figuera L. E., et al. The rs2234694 and 50 bp Insertion/Deletion polymorphisms of the SOD1 gene are associated with breast cancer risk in a Mexican population, *European Review for Medical & Pharmacological Sciences*. 24(15), 2020.
- 12- <https://pubs.broadinstitute.org/mammals/haploreg/haploreg.php> (Erişim Tarihi: 8.12.24).
- 13- <http://rsnp3.psych.ac.cn/index.do> (Erişim Tarihi: 8.12.2024).
- 14- Saify, K., & Saadat, M. Influence of a 50bp Ins/Del polymorphism at promoter of the superoxide dismutase-1 on gene expression and risk of heroin dependency, *Environmental Health and Preventive Medicine*, 22, 1-6, 2017.
- 15- Soyocak, A., Doganer, F., Duzgun Ergun, D., Budak, M., Turgut Coşan, D., & Ozgen, M. Evaluation of relationship between SOD1 50-bp deletion gene polymorphism, Cu, Zn level, and viscosity in postmenopausal osteoporosis patients with vertebral fractures, *Biological Trace Element Research*, 201(2), 2023.
- 16- Nursal, A.F., Ünver, Ş., Yiğit, S., Orhan, Ö.M., Atan, T. The evaluation of superoxide dismutase 1 gene insertion/deletion variant in athletes, *Rev Assoc Med Bras*, 69(12), 2023.

- 17- Yukcu, F., Akcılar, R., Namdar, N.D., Sevinc, S.K., & Utku, S.A. Investigation of the Effects of SOD1+ 35A/C and GPx-3+ 1494A/G Gene Polymorphisms in Patients With Acne Vulgaris, *Journal of Clinical Practice & Research*, 46(2), 2024.
- 18- Polat, S., & Şimşek, Y. Five variants of the superoxide dismutase genes in Turkish women with polycystic ovary syndrome, *Free Radical Research*, 54(6), 2020.
- 19- https://www.ensembl.org/Homo_sapiens/Variation/Population?db=core;r=21:3166605-231667052;v=rs2234694;vdb=variation;vf=1078966505#373507_tablePanel (Erişim Tarihi: 12.12.2024)
- 20- Ben Anes, A., Ben Nasr, H., Garrouche, A., Bchir, S., Dhaouefi, Z., Chabchoub, E., & Chahed, K. The Cu/Zn superoxide dismutase+ 35A/C (rs2234694) variant correlates with altered levels of protein carbonyls and glutathione and associates with severity of COPD in a Tunisian population, *Free Radical Research*, 53(3), 2019.
- 21- Milani, P., Gagliardi, S., Bongioanni, P., Grieco, G. S., Dezza, M., Bianchi, M., ... & Cereda, C. Effect of the 50 bp deletion polymorphism in the SOD1 promoter on SOD1 mRNA levels in Italian ALS patients, *Journal of the neurological sciences*, 313(1-2), 2012.
- 22- Tripathi, P., Agarwal, S., Sarangi, A. N., Tewari, S., & Mandal, K. Genetic Variation in SOD1 Gene Promoter Ins/Del and Its Influence on Oxidative Stress in Beta Thalassemia Major Patients, *International Journal of Hematology-Oncology and Stem Cell Research*, 14(2), 2020.
- 23- Broom, W. J., Greenway, M., Sadri-Vakili, G., Russ, C., Auwarter, K. E., Glajch, K. E., & Brown Jr, R. H. 50bp deletion in the promoter for superoxide dismutase 1 (SOD1) reduces SOD1 expression in vitro and may correlate with increased age of onset of sporadic amyotrophic lateral sclerosis, *Amyotrophic Lateral Sclerosis*, 9(4), 2008.

SİGARA BAĞIMLILARINDA *SOD1* GENİNE AİT 50BP INS/DEL POLİMORFİZMİNİN TÜRK POPÜLASYONUNDA ARAŞTIRILMASI

M.Sc. ÜLGEN SEVER ^{1*}, Prof.Dr. MEHMET ATİLLA UYSAL ², M.Sc.Bio. FATIMA
CEREN TUNÇEL ^{3*}, Prof.Dr. SACİDE PEHLİVAN ⁴

^{1*} İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Moleküler Tıp Anabilim Dalı,
ulgenn_@hotmail.com - ORCID ID: 0000-0002-9754-0446

² Sağlık Bilimleri Üniversitesi, İstanbul Yedikule Göğüs Hastalıkları ve Göğüs Cerrahisi
Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi, mehmetatilla.uysal@sbu.edu.tr - ORCID ID: 0000-
0002-0430-498X

^{3*} İstanbul Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Biyoloji Anabilim
Dalı, fatimaceren.tuncel@gmail.com - ORCID ID: 0000-0001-6787-2565

⁴ İstanbul Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı,
sacide.pehlivan@istanbul.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-1272-5845

*Çalışmada eşit emek harcamışlardır.

ÖZET

Türkiye’de sigara bağımlılığı, halk sağlığını tehdit eden önemli sorunlardan biridir. Sigara içiciliği, kardiyovasküler hastalıklar, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), immün aracılı inflamatuvar hastalıklar ve kanser gibi birçok ciddi hastalık için risk faktörüdür. Sigara dumanı, hücrelerde oksidatif strese ve hasara neden olan, serbest radikaller, reaktif oksijen türleri (ROS) ve reaktif azot türleri (RNS) gibi bileşenleri içerir. Sigara nedeniyle artan ROS seviyelerinin yol açtığı oksidatif stres, inflamasyon ve karsinogenezde kritik bir rol oynamaktadır. İnsan vücudu, oksidatif hasardan korunmak için çeşitli antioksidan savunma mekanizmalarına sahiptir. Süperoksit dismutazlar (SOD’lar), süperoksidi oksijen ve hidrojen perokside dönüştüren enzimatik antioksidanlardır. SOD1 insanlarda bulunan üç farklı SOD izoformundan biridir. *SOD1* geninin promotor bölgesinde tanımlanan 50 bp’lik delesyon polimorfizmi, azalmış promotor aktivitesi ve düşük mRNA seviyeleri ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, sigara içen bireylerin eritrositlerinde SOD aktivitelerinin, sigara içmeyenlere göre anlamlı derecede azaldığı bildirilmiştir. Bu çalışmada, sigara içen ve içmeyen bireylerde *SOD1* 50 bp Ins/Del polimorfizmi genotip ve allel sıklığı açısından bir farklılık olup olmadığının araştırılması amaçlanmıştır.

Çalışmaya 150 sigara içen (80 erkek, 70 kadın) ve 150 sigara içmeyen (67 erkek, 83 kadın) birey dahil edilmiştir. *SOD1* 50 bp Ins/Del varyant analizi lökositlerden izole edilen DNA’larda, PCR yöntemi ve agaroz jel elektroforezi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar hem gruplar hem de farklı cinsiyetler arasında karşılaştırıldığında, istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Ayrıca, sonuçlar Hardy-Weinberg dengesi açısından da değerlendirilmiş; sigara içenlerde allel dağılımı Hardy-Weinberg dengesinden sapma gösterirken ($p=0.0269$), sigara içmeyenlerde bu sapma gözlemlenmemiştir ($p=0.9525$). Sonuç olarak; çalışmamızda, sigara içen ve içmeyen bireylerde *SOD1* 50 bp Ins/Del polimorfizminin

genotip ve allel frekanslarında anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir. Ancak, sigara içenlerde allel dağılımının Hardy-Weinberg dengesinden sapma göstermesi, *SOD1* 50 bp Ins/Del polimorfizminin sigara içme durumu ile ilişkisinin daha geniş gruplarda ve diğer polimorfizmlerle birlikte ayrıntılı bir şekilde incelenmesi için ileri çalışmaların gerekli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler : Sigara bağımlılığı, DNA, *SOD1* geni, 50 bp Ins/Del polimorfizmi.

INVESTIGATION OF 50BP INS/DEL POLYMORPHISM OF SOD1 GENE IN CIGARETTE ADDICTS IN TURKISH POPULATION

^{1*} Istanbul University, Institute of Health Sciences, Department of Molecular Medicine, ulgenn_@hotmail.com - ORCID ID: 0000-0002-9754-0446

² University of Health Sciences, Istanbul Yedikule Chest Diseases and Chest Surgery Health Application and Research Center, mehmetatilla.uyosal@sbu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-0430-498X

^{3*} Istanbul University, Faculty of Medicine, Institute of Health Sciences, Department of Medical Biology, fatimaceren.tuncel@gmail.com - ORCID ID: 0000-0001-6787-2565

⁴ Istanbul University, Faculty of Medicine, Department of Medical Biology, sacide.pehlivan@istanbul.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-1272-5845

*They exerted equal effort in the study.

ABSTRACT

In Turkey, cigarette addiction is one of the important problems threatening public health. Smoking is a risk factor for many serious diseases such as cardiovascular diseases, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), immune-mediated inflammatory diseases and cancer. Cigarette smoke contains components such as free radicals, reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS) that cause oxidative stress and damage in cells. Oxidative stress caused by increased ROS levels due to smoking plays a critical role in inflammation and carcinogenesis. The human body has various antioxidant defense mechanisms to protect against oxidative damage. Superoxide dismutases (SODs) are enzymatic antioxidants that convert superoxide to oxygen and hydrogen peroxide. SOD1 is one of three different SOD isoforms found in humans. A 50 bp deletion polymorphism identified in the promoter region of the SOD1 gene has been associated with decreased promoter activity and low mRNA levels. In addition, it has been reported that SOD activities in erythrocytes of smokers are significantly reduced compared to non-smokers. This study aimed to investigate whether there is a difference in genotype and allele frequency of SOD1 50 bp Ins/Del polymorphism in smokers and non-smokers.

150 smokers (80 males, 70 females) and 150 non-smokers (67 males, 83 females) were included in the study. SOD1 50 bp Ins/Del variant analysis was performed on DNAs isolated from leukocytes using PCR method and agarose gel electrophoresis. When the obtained results were compared between both groups and different genders, no statistically significant difference was found ($p>0.05$). In addition, the results were evaluated in terms of Hardy-Weinberg equilibrium; While allele distribution in smokers deviates from Hardy-Weinberg equilibrium ($p=0.0269$), this deviation was not observed in non-smokers ($p=0.9525$). As a result; in our study, no significant difference was observed in the genotype and allele frequencies of SOD1 50 bp Ins/Del polymorphism in smokers and non-smokers. However, the deviation of allele distribution from Hardy-Weinberg equilibrium in smokers indicates that further studies are necessary to examine the relationship between SOD1 50 bp Ins/Del polymorphism and smoking status in larger groups and together with other polymorphisms in detail.

Keywords: Smoking addiction, DNA, SOD1 gene, 50 bp Ins/Del polymorphism.

GİRİŞ

Türkiye'de tütün kullanımı gençler ve yetişkinler arasında önemli bir halk sağlığı sorunu oluşturmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 15 yaş ve üzerindeki bireylerin %28,3'ü her gün tütün mamulü kullanmaktadır. Cinsiyetler açısından bakıldığında bu oran erkeklerde %41,3, kadınlarda ise %15,5 olarak belirlenmiştir (TÜİK, 2022).

Sigara içmenin, tüm ırksal ve etnik gruplarda ciddi sağlık sorunlarına yol açan başlıca nedenlerden biri olmaya devam ettiği Surgeon General'ın güncel raporunda da vurgulanmaktadır (USDHHS, 2024). Sigara içme alışkanlığının kardiyovasküler hastalıklar, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), immün aracılı inflamatuvar hastalıklar ve çeşitli kanser türleri için önemli bir risk faktörü olduğu bilimsel araştırmalar ile desteklenmiştir (USDHHS, 2014; WHO, 2017). KOAH'ın başlıca nedeni olan sigara, hastalığın ilerlemesinde de önemli bir etkiye sahiptir (CDC, 2012). Sigara içiciliği, orofarinks, larinks, özofagus, akciğer, bronş ve trakea, mide, karaciğer, pankreas, böbrek ve üreter, serviks, mesane, kolon ve rektum gibi farklı kanser türlerinin doğrudan nedensel faktörünü oluşturmaktadır (USDHHS, 2014).

Sigara dumanında 4000'den fazla kimyasal bileşen mevcuttur. Bunlar arasında reaktif oksijen türleri (ROS), reaktif azot türleri (RNS), nitrik oksit (NO) ve organik serbest radikaller yer almaktadır (Brunnemann ve ark. 1991, Pryor ve ark. 1993, Mortaz ve ark. 2011). ROS ve RNS'ler nispeten kısa ömürlüdür, ancak sigara dumanındaki daha stabil maddeler (örneğin aldehitler, ketonlar ve nikotin) ROS üretimini artırma potansiyeline sahiptir (Stedman 1968, Jaimes ve ark. 2004). Oksidanlar ve daha stabil bileşikler, akciğerlerde oksidatif stres ve inflamasyonu tetiklemenin yanı sıra, dolaşıma geçerek, maruziyetin gerçekleştiği birincil bölgeden uzak hücre ve dokularda da oksidatif stres ve inflamasyonu başlatabilmektedir (Austin ve ark. 2016). Artan sayıda bilimsel kanıt, sigaranın neden olduğu oksidatif stresin, inflamasyon ve karsinogenez üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir (Andrew ve ark. 2021). Oksidatif stres, kardiyovasküler hastalıklar, nörolojik bozukluklar, yaşlanma gibi çeşitli durumların gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır (Ames ve ark 1991, Rajaraman ve ark. 2008).

Oksidatif stres, üretilen ve elimine edilen ROS miktarları arasındaki dengenin bozulması sonucunda biriken ROS tarafından oluşturulur (Gorrini ve ark. 2013). ROS, reaktif özelliklere sahip oksijen içeren kimyasallardır. Bunlar arasında süperoksit ve hidroksil serbest radikalleri ile hidrojen peroksit gibi radikal olmayan moleküller de yer alır. (Gorrini ve ark. 2013). Oldukça reaktif moleküllerdir; karbonhidratlar, nükleik asitler, lipitler ve proteinler gibi hücre yapılarına zarar verebilir ve işlevlerini değiştirebilme özelliğine sahiptir (Birben ve ark. 2012). İnsanlarda, ROS seviyelerini düzenleyerek zararlı etkilerini engelleyen enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan savunma mekanizmaları bulunmaktadır (Hayes ve ark. 2005). Süperoksit dismutazlar (SOD), enzimatik antioksidanlardan olup süperoksit radikallerinin detoksifikasyonunda görev alırlar ve oksidatif stres ile mücadelede kritik rol oynarlar (Chidambaram ve ark. 2023). SOD'lar antioksidan aktiviteleri için bir metal kofaktöre ihtiyaç duyarlar. Üç farklı SOD türü vardır: Cu/Zn içeren hücre içi SOD1, Mn içeren mitokondriyal SOD2 ve Cu/Zn içeren hücre dışı SOD3 (Azadmanesh ve Borgstahl, 2018).

Önemli bir sitoplazmik antioksidan enzim olan SOD1, kromozom 21q22'de konumlu *SOD1* geni tarafından kodlanır (Sherman ve ark. 1983). *SOD1* geni, düzenleyici bölgelerinde yer alan çeşitli polimorfik varyantlara sahiptir. Bunlardan biri promotör bölgede, ATG başlangıç kodonunun 1684 baz çifti (bp) yukarısında yer alan 50 bp'lik bir insersiyon/delesyon polimorfizmidir (rs36232792). Bu kısım, çeşitli transkripsiyon faktörleri için bağlanma bölgeleri içerir; bunlar arasında iki SP1, iki C/EBP bağlanma bölgesi ve bir AP2 bölgesi bulunmaktadır (Broom ve ark., 2008). Bu nedenle, 50 bp Ins/Del polimorfizm *SOD1* gen ekspresyonunun düzenlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. 50 bp delesyon varyantı azalmış promotör aktivitesi ve düşük SOD1 düzeyleri ile ilişkilendirilmiştir (Broom ve ark. 2008). Sigara içenlerin eritrositlerinde, sigara içmeyenlere kıyasla SOD aktivitelerinde anlamlı bir azalma olduğunu bildiren çalışmalar bulunmaktadır (Orhan ve ark 2005). Ancak literatürde sigara bağımlılarında *SOD1* 50 bp Ins/Del polimorfizmi durumuna dair herhangi bir veri mevcut değildir. Bu doğrultuda, çalışmamızda sigara içen ve içmeyen bireylerde *SOD1* 50 bp Ins/Del polimorfizmi genotip ve allel sıklığı açısından bir farklılık olup olmadığının araştırılması amaçlanmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmamızda, Yedikule Göğüs Hastalıkları ve Göğüs Cerrahisi Eğitim ve Araştırma Hastanesi Sigara Bırakma Polikliniği'ne başvuran 150 sigara içen birey (80 erkek, 70 kadın) hasta grubu olarak; herhangi bir bağımlılığı olmayan ve sigara içmeyen 150 sağlıklı birey (67 erkek, 83 kadın) ise kontrol grubu olarak yer almıştır. Araştırmamız, İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan onay alındıktan sonra başlatılmış olup, tüm katılımcılara çalışma hakkında bilgilendirme yapılmış ve imzalı onamları alınmıştır.

Çalışma kapsamında, katılımcılardan alınan periferik kan örneklerinden elde edilen lökositlerden DNA izolasyonu yapılmıştır. *SOD1* 50 bp Ins/Del varyant analizi, 5-AATTCCTTACCCCTGTTCTA-3 ve Reverse: 5-GGCAGATTCAGTTCATTGT-3 primer çiftleri kullanılarak, 54°C'lik bağlanma sıcaklığında PCR ile gerçekleştirilmiştir (Soyocak ve ark. 2023). PCR ürünleri, %2,5'lik agaroz jelde, 80V'da en az 1 saat süreyle elektroforez edilmiş ve UV ışığı altında incelenmiştir. Katılımcılara ait genotipler allel bant boylarından (297 bp

Ins varyantı ve 247 bp Del varyantı olmak üzere) yararlanılarak belirlenmiştir (Soyocak ve ark. 2023).

İstatistiksel analizde, anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak belirlenmiştir. Sigara içenler ve sigara içmeyenler arasındaki genotip ve allel dağılımları, ki-kare testi ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, her iki grupta Hardy-Weinberg dengesine uyum değerlendirilmiştir.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Sigara içen ve içmeyen gruplarına ait *SODI* 50 bp Ins/Del genotip ve allel frekansları karşılaştırılmış ve istatistik açıdan anlamlı bir fark tespit edilmemiştir (sırasıyla $p=0,3577$ ve $p=0,3875$) (Çizelge 1).

Ayrıca, sonuçlar Hardy-Weinberg dengesi açısından da değerlendirilmiştir. Sigara içenlerde allel dağılımı Hardy-Weinberg dengesinden sapma gösterirken ($p=0.0269$), sigara içmeyenlerde sapma gözlemlenmemiştir ($p=0.9525$).

Çizelge 1. Sigara İçen/Sigara İçmeyen Gruplarına Ait *SODI* 50 bp Ins/Del Genotip ve Allel Dağılımı.

		Sigara İçen N (%)	Sigara İçmeyen N (%)	p
Genotip	II	115 (%76,67)	118 (%78,67)	0,3577
	ID	29 (%19,33)	30 (%20)	
	DD	6 (%4)	2 (%1,33)	
	Toplam	150 (%100)	150 (%100)	
Allel	I	259 (%86,33)	266 (%88,67)	0,3875
	D	41 (%13,67)	34 (%11,33)	
	Toplam	300 (%100)	300 (%100)	

SODI 50 bp Ins/Del varyantlarının cinsiyetlerdeki dağılımları da karşılaştırılmıştır. Genotip ve allel frekanslarının cinsiyetler arasında da benzer olduğu gözlenmiştir (sırasıyla $p=0,5908$ ve $p=0,2939$) (Çizelge 2).

Çizelge 2. A.)Kadın ve E.)Erkek Gruplarına Ait *SODI* 50 bp Ins/Del Genotip ve Allel Dağılımı.

A)

		Kadın N (%)	Erkek N (%)	p
Genotip	II	122 (%79,74)	111 (%75,51)	0,5908
	ID	28 (%18,30)	31 (%21,09)	
	DD	3 (%1,96)	5 (%3,40)	
	Toplam	153 (%100)	147 (%100)	
Allel	I	272 (%88,89)	253 (%86,05)	0,2939
	D	34 (%11,11)	41 (%13,95)	
	Toplam	306 (%100)	294 (%100)	

B)

		Sigara İçen N (%)	Sigara İçmeyen N (%)	p
Kadın	II	57 (%81,43)	65 (%78,31)	-
	ID	10 (%14,285)	18 (%21,69)	
	DD	3 (%4,285)	0 (%0)	
	Toplam	70 (%100)	83 (%100)	
Erkek	II	58 (%72,5)	53 (%79,1)	0,6495
	ID	19 (%23,75)	12 (%17,91)	
	DD	3 (%3,75)	2 (%2,99)	
	Toplam	80 (%100)	67 (%100)	

GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Halk sağlığı için önemli bir risk oluşturan sigara bağımlılığı, ülkemizde gün geçtikçe artış göstermektedir (TÜİK, 2022). Sigara bağımlılığının moleküler genetik temellerinin ortaya konulması, bu bağımlılık ile mücadelede önemli bir köşe taşını oluşturmaktadır. Sigara içiciliği, kardiyovasküler hastalıklar, KOAH, immün aracılı inflamatuvar hastalıklar ve kanserin de aralarında bulunduğu pek çok ciddi hastalık için bir risk faktörü olarak kabul edilmektedir (USDHHS, 2014; WHO, 2017). Sigara dumanındaki bileşenlerin hücrelerde oksidatif strese sebep olduğu ve bu oksidatif stresin de inflamasyon ve karsinogenezde kritik bir rol oynadığı yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Austin ve ark. 2016, Andrew ve ark. 2021). Bu bağlamda, oksidatif strese karşı savunma sağlayan antioksidan mekanizmaların rolü, sigara bağımlılığı ve sigara ile ilişkili hastalıkların önlenmesi ve tedavisinde kritik bir öneme sahiptir. SOD'lar bu antioksidan mekanizmalardan biridir. Çalışmamızda, bu verilerden yola çıkararak, *SOD1* gen ekspresyonunun düzenlenmesinde etkili olan 50 bp Ins/Del polimorfizminin sigara ieme durumu açısından ele alınması amaçlamaktadır.

Sigara bağımlılığını ve *SOD1* 50 bp Ins/Del polimorfizmi ilişkisine dair bir veri mevcut değildir. Bununla birlikte *SOD1* 50 bp Ins/Del polimorfizminin pek çok farklı hastalıkla ilişkisini inceleyen araştırma bulunmaktadır. Hindistan'da yapılan güncel bir çalışma da 50 bp Ins/Del polimorfizmi (rs36232792) ile KOAH gelişimi arasında anlamlı bir ilişkinin tespit edilmediği bildirilmiştir (Kansal ve ark. 2024). İnan popülasyonunda yapılan bir alışma, Del varyantının artmış kardiyovasküler hastalıklar ile ilişkili olduğunu tespit etmiştir (Eskandari-Nasab ve ark. 2014). Bipolar bozukluk riski ile 50 bp Ins/Del polimorfizmi arasında ilişki tespit edilmezken, Del/Del genotipi erken başlangıç yaşı ile ilişkili bulunmuştur (Kordestanian ve Saadat 2017). Yapılan bir çalışmada Del/Del genotipi artmış preeklemsi riski ile ilişkilendirilmiştir (Namdari ve Saadat 2021). Mesane kanseri ile ilişkisini araştıran bir çalışma verilerine göre Del alleli artmış mesane kanseri riski ile ilişkili bulunmuştur (Sarabandi ve ark. 2022). Del alleli yapılan başka bir çalışmada katarakt riski ile ilişkilendirilmiştir (Kohan ve ark. 2024).

SOD1 50bp Ins/Del polimorfizmini çeşitli bağımlılıklar açısından değerlendiren çalışmalar da mevcuttur. Yapılan bir çalışmada eroin bağımlılığı ile 50 bp Ins/Del polimorfizminin arasında

anlamli bir ilişki bulunmadığı bildirilmiştir (Saify ve Saadat 2017). Bir diğeri çalışmada 50bp Ins/Del polimorfizminin afyon ve metamfetamin bağımlılığı riski ile ilişkili olmadığı tespit edilmiştir (Saify ve Saadat 2018). Benzer şekilde bizim çalışmamızda da sigara bağımlılığı ve 50bp Ins/Del polimorfizmi arasında anlamli bir ilişki tespit edilmemiştir.

Sonuç olarak; çalışmamız SOD1 50 bp Ins/Del polimorfizmini sigara içme durumu açısında inceleyen ilk araştırma olma özelliği taşımaktadır. Elde ettiğimiz bulgular, sigara içen ve içmeyen bireyler arasında SOD1 50 bp Ins/Del polimorfizminin genotip ve allel frekanslarında anlamli bir fark olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, sigara içenlerde allel dağılımlının Hardy-Weinberg dengesinden sapma göstermesi, bu polimorfizmin sigara içme durumu ile potansiyel ilişkisini işaret etmektedir. Bu durum, daha geniş örneklem grupları ve diğeri genetik polimorfizmlerle birlikte yapılacak ileri düzey çalışmalara olan ihtiyaı ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

Türkiye Sağlık Araştırması, 2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Turkiye-Saglik-Arastirmasi-2022-49747> 30.11.2024

U.S. Department of Health and Human Services. Eliminating Tobacco-Related Disease and Death: Addressing Disparities—A Report of the Surgeon General. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, Office on Smoking and Health, 2024.

The US Surgeon General, The health consequences of smoking - 50 years of progress: A report of the Surgeon General, US Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, Office on Smoking and Health, 2014. <http://www.surgeongeneral.gov/library/reports/50-years-of-progress/> Author Manuscript

World Health Organization (WHO), WHO report on the global tobacco epidemic, 2017: Monitoring tobacco use and prevention policies, Geneva, Switzerland, 2017. Licence: CC BY NC-SA.

Centers for Disease Control and Prevention. Chronic obstructive pulmonary disease among adults—United States, 2011. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 2012;61(46):938–43.

Brunnemann K.D., Hoffmann D. Analytical studies on tobacco-specific N-nitrosamines in tobacco and tobacco smoke. *Crit. Rev. Toxicol.* 1991;21:235–240.

*Pryor, W. A. & Stone, K. Oxidants in cigarette smoke. Radicals, hydrogen peroxide, peroxyxynitrate, and peroxyxynitrite. Ann N Y Acad Sci*686, 12–27; discussion 27–18 (1993).

Mortaz E., Masjedi M.R., Rahman I. Outcome of Smoking Cessation on Airway Remodeling and Pulmonary Inflammation in COPD Patients. *Tanaffos.* 2011;10:7–11.

Stedman RL. The chemical composition of tobacco and tobacco smoke. *Chem Rev.* 1968;68:153–207. doi: 10.1021/cr60252a002.

Jaimes EA, DeMaster EG, Tian RX, Raj L. Stable compounds of cigarette smoke induce endothelial superoxide anion production via NADPH oxidase activation. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology.* 2004;24:1031–1036.

Austin V, Crack PJ, Bozinovski S, Miller AA, Vlahos R. COPD and stroke: are systemic inflammation and oxidative stress the missing links? *Clin Sci (Lond)* 2016;130:1039–1050.

Andrew W. Caliri, Stella Tommasi, Ahmad Besaratinia. Relationships among smoking, oxidative stress, inflammation, macromolecular damage, and cancer. *Mutat Res.* 2021 ; 787: 108365.

Ames BN, Gold LS. Endogenous mutagens and the causes of aging and cancer. *Mutat Res.* 1991;250:3–16. doi: 10.1016/0027-5107(91)90157-j.

Rajaraman P, Hutchinson A, Rothman N, et al. Oxidative response gene polymorphisms and risk of adult brain tumors. *Neuro Oncol.* 2008;10:709–715.

Gorrini, C., Harris, I. S., & Mak, T. W. (2013). *Modulation of oxidative stress as an anticancer strategy.* *Nature Reviews Drug Discovery*, 12(12), 931–947.

Birben E, Sahiner UM, Sackesen C, Erzurum S, Kalayci O, Oxidative stress and antioxidant defense, *World Allergy Organ J*, 5 (2012) 9–19.

Hayes JD, Flanagan JU, Jowsey IR, Glutathione transferases, *Annual review of pharmacology and toxicology*, 45 (2005) 51–88.

Chidambaram SB, Anand N, Varma SR, Ramamurthy S, Vichitra C, Sharma A, Mahalakshmi AM, Essa MM. Superoxide dismutase and neurological disorders. *IBRO Neurosci Rep.* 2024 Jan 23;16:373-394.

Azadmanesh J., Borgstahl G. A Review of the Catalytic Mechanism of Human Manganese Superoxide Dismutase. Antioxidants. 2018;7:25.

Sherman, L., Dafni, N., Lieman-Hurwitz, J., Groner, Y. Nucleotide sequence and expression of human chromosome 21-encoded superoxide dismutase mRNA. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 80: 5465-5469, 1983.

W.J. Broom, M. Greenway, G. Sadri-Vakili, C. Russ, K.E. Auwarter, K.E. Glajch, N. Dupre, R.J. Swingler, S. Purcell, C. Hayward, P.C. Sapp. 50bp deletion in the promoter for superoxide dismutase 1 (SOD1) reduces SOD1 expression in vitro and may correlate with increased age of onset of sporadic amyotrophic lateral sclerosis. *Amyotroph Lateral Scler.*, 9 (4) (2008 Jan 1), pp. 229-237

Soyocak, A., Doganer, F., Duzgun Ergun, D., Budak, M., Turgut Coşan, D., & Ozgen, M. Evaluation of relationship between SOD1 50-bp deletion gene polymorphism, Cu, Zn level, and viscosity in postmenopausal osteoporosis patients with vertebral fractures, *Biological Trace Element Research*, 201(2), 2023

Kansal, H., Chopra, V., Garg, K., & Sharma, S. (2024). Genetic variations in the antioxidant genes and their role in modulating susceptibility towards chronic obstructive pulmonary disease in the North Indian population. *Free Radical Biology and Medicine*, 223, 118-130.

Eskandari-Nasab E, Kharazi-Nejad E, Nakhaee A, Afzali M, Tabatabaei SP, Tirgar-Fakheri K, Hashemi M. 50-bp Ins/Del polymorphism of SOD1 is associated with increased risk of cardiovascular disease. *Acta Med Iran*. 2014;52(8):591-5. PMID: 25149881.

Kordestanian, N., & Saadat, M. (2017). A 50-bp Ins/Del polymorphism at the promoter region of the superoxide dismutase-1 and bipolar disorder type 1. *Nordic journal of psychiatry*, 71(8), 570-573.

Namdari S, Saadat M. Susceptibility to preeclampsia is associated with a 50-bp insertion/deletion polymorphism at the promoter region of the *SOD1* gene. *J Turk Ger Gynecol Assoc*. 2021 Dec 6;22(4):268-272. doi: 10.4274/jtgga.galenos.2021.2021.0005. PMID: 34866367; PMCID: PMC8666992.

Sarabandi S, Effatpanah H, Sereshki N, Samavarchi Tehrani S, Moradi-Sardareh H. 50-bp insertion/deletion polymorphism of the superoxide dismutase-1 is associated with bladder cancer risk in an Iranian population. *Nucleosides Nucleotides Nucleic Acids*. 2022;41(2):154-165.

Kohan, L., Sharghi, S., & Karimi, A. (2024). SIRT1 rs7895833 and SOD1-50bp ins/del Gene vVariations in Age-Related Cataract Patients: A Case-Control Study. *Personalized Medicine Journal*, 9(32), 16-22.

Saify K, Saadat M. Influence of a 50bp Ins/Del polymorphism at promoter of the superoxide dismutase-1 on gene expression and risk of heroin dependency. *Environ Health Prev Med*. 2017 Mar 15;22(1):4. doi: 10.1186/s12199-017-0617-8. PMID: 29165112; PMCID: PMC5661911.

Saify, K., & Saadat, M. (2018). Association Between a 50bp Ins/Del Genetic Variation at Promoter of the Superoxide Dismutase-1 (SOD1) and the Risk of Dependency to Opium and Methamphetamine. *Acta Medica Iranica*, 635-639.

PLASMODIUM VIVAX'IN MİKROSATELLİTLERLE GENOTİPLENDİRİLMESİ

Prof. Dr. Nebiye YENTÜR DONİ

Harran Üniversitesi Tıp Fakültesi Temel Bilimler Bölümü Tıbbi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı

E-mail: n_doni@harran.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-0383-4970

Dr. Öğr. Üyesi Gülcan GÜRSES

Harran Üniversitesi Sağlık Hizmetleri MYO Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü

E-mail: ggurses@hotmail.com - ORCID ID: 0000-0002-8569-9863

ÖZET

Sıtma, çoğunlukla subtropikal ülkelerde görülen *Plasmodium* ile infekte dişi anofellerin ısırıkları sonucu insanlara bulaşan ve yaşamı tehdit eden önemli bir enfeksiyöz hastalıktır. İnsanlarda sıtmaya neden olan beş parazit türünden ikisi *Plasmodium falciparum* ve *Plasmodium vivax* insanlar için en büyük tehdidi oluşturmaktadır. DSÖ'ye göre dünyada, 2023 yılında tahmini 263 milyon sıtma vakasının olduğu ve 83 ülkede 597.000 sıtma ölümünün gerçekleştiği bildirilmektedir. Türkiye'de 2021'de yurtdışı kaynaklı 210 sıtma vakası tespit edilmiştir. Sıtma vakalarının tespit edilerek doğru tanı konulması ve tedavi edilmesi ile sıtmanın yayılımı önlenir. Sıtma tanısında genellikle kullanılan direkt mikroskopi, parazit miktarının yüksek olduğu durumlarda yeterli olmaktadır. Parazitin türü, miktarının düşük olması, parazit incelemesi yapan uzmanların ihmali, kan yaymalarının hazırlanması ve boyanması sırasında yapılan hatalar bazen geleneksel tanı yöntemlerinin yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Moleküler yöntemler bu konuda destekleyici ve tamamlayıcı bir tanı yöntemi olarak eksiklikleri gidermektedir. Parazit suşlarının lokal ya da global epidemiyolojisini anlamak için parazit farklılıklarını ve alt türlerini tanımlamak bir zorunluluktur. Son yıllarda sürekli gelişen moleküler genotiplendirme yöntemleri olmasına rağmen, genellikle 2-10 baz çifti tekrarlı (tandem repeated) nükleotid dizilerine sahip ko-dominant, polimorfik ya da yüksek düzeyde allelik varyasyon gösteren DNA lokusları olarak tanımlanan mikrosatellitler, ökaryotik mikroorganizmaların genetik çalışmalarında en önemli ve bilgi verici moleküler belirteç olarak yerini korumaya devam etmektedir.

Son zamanlarda, *P. vivax* popülasyonlarının genotiplendirilmesinde mikrosatellitlerin kullanıldığı güvenilir yöntemler geliştirilmiştir. *P. vivax*'ın mikrosatellit belirteçleri kullanılarak genotiplenmesi, parazit popülasyonlarının karşılaştırılmasına olanak sağlayan araştırmaların yolunu açmıştır. Bu çalışmada, *P.vivax* genotiplenmesinde, ilaç direnci, fenotip çalışmalarında, relaps, nüks ve yeniden enfeksiyon arasındaki genetik farkı ayırt etmede en sık kullanılan ve yarar sağlayan mikrosatellitler (MS7, MS1, MS8, MS5MS3, MS10, MS12, MS20 vs) ve önemi vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Malaria, *Plasmodium vivax*, mikrosatellitler, genotipleme

ABSTRACT

GENOTYPING of PLASMODIUM VIVAX USING MICROSATELLITES

Malaria is a significant infectious disease that threatens human life, transmitted to human through the bites of female Anopheles mosquitoes infected with *Plasmodium*. It is seen mostly in subtropical countries. Two of the five malaria parasites, *Plasmodium falciparum* and *Plasmodium vivax* that cause malaria in humans the greatest threat for human. According to the World Health Organization (WHO), it is reported that there were an estimated 263 million cases of malaria worldwide in 2023, with 597,000 malaria deaths occurring in 83 countries. In Turkey, 210 malaria cases of foreign origin were detected in 2021. The spread of malaria can be prevented by detecting malaria cases, making an accurate diagnosis, and providing treatment. Direct microscopy, commonly used in malaria diagnosis, is usually sufficient when parasite levels are high. However, traditional diagnostic methods might be insufficient due to the the low quantity of parasite species, the neglect of experts during analysing parasites, identification, preparing and staining blood smears, Molecular methods address the limitations of traditional diagnostic techniques, serving as a supportive and complementary diagnostic technique. it is essential to identify parasite variations and subspecies to understand the local or global epidemiology of parasite species. Despite the continuous development of molecular genotyping methods in recent years, microsatellites, Despite the continuously developing molecular genotyping methods in recent years, microsatellites, which are generally defined as co-dominant, polymorphic, or exhibiting high levels of allelic variation with 2-10 base pair repetitive (tandem repeated) nucleotide sequences, remain one of the most important and informative molecular markers in the genetic studies of eukaryotic microorganisms. Recently, reliable methods have been developed for the genotyping of *P. vivax* populations using microsatellites [3, 4, 5]. The genotyping of *P. vivax* using microsatellite markers has paved the way for research that allows for the comparison of parasite populations [3]. In this study, the most commonly used and beneficial microsatellites (MS7, MS1, MS8, MS5, MS3, MS10, MS12, MS20, etc.) in *P. vivax* genotyping are highlighted, especially in relation to their use in drug resistance, phenotypic studies, and distinguishing genetic differences between relapse, recrudescence, and reinfection.

Key words: Malaria, *Plasmodium vivax*, microsatellites, genotyping

PLASMODIUM VIVAX'IN MIKROSATELLİTLERLE GENOTİPLENDİRİLMESİ

1. GİRİŞ

Sıtma, çoğunlukla subtropikal ülkelerde görülen *Plasmodium* ile infekte dişi anofellerin ısırıkları sonucu insanlara bulaşan ve yaşamı tehdit eden önemli bir enfeksiyöz hastalıktır. İnsanlarda sıtmaya neden olan beş parazit türünden ikisi *Plasmodium falciparum* (*P. falciparum*) ve *Plasmodium vivax* (*P. vivax*) insanlar için en büyük tehdidi oluşturmaktadır. DSÖ'ye göre dünyada, 2023 yılında tahmini 263 milyon sıtma vakasının olduğu ve 83 ülkede 597.000 sıtma ölümünün gerçekleştiği bildirilmektedir. Türkiye'de 2021'de yurtdışı kaynaklı 210 sıtma vakası tespit edilmiştir. Sıtma vakalarının tespit edilerek doğru tanı konulması ve tedavi edilmesi ile sıtmanın yayılımının önlenebileceği düşünülmektedir. Sıtma tanısında genellikle kullanılan direkt mikroskopi, parazit miktarının yüksek olduğu durumlarda yeterli olmaktadır. Parazitin türü, miktarının düşük olması, parazit mikroskobikinin ihmali, kan yaymalarının hazırlanması ve boyanması sırasında yapılan hatalar bazen geleneksel tanı yöntemlerinin yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Moleküler yöntemler bu konuda destekleyici ve tamamlayıcı bir tanı yöntemi olarak eksiklikleri gidermektedir. Parazit suşlarının lokal ya da global epidemiyolojisini anlamak için parazit farklılıklarını ve alt türlerini tanımlamak bir zorunluluktur. Son yıllarda sürekli gelişen moleküler genotiplendirme yöntemleri olmasına rağmen, genellikle 2-10 baz çifti tekrarlı (tandem - repeated) nükleotid dizilerine sahip ko-dominant, polimorfik ya da yüksek düzeyde allelik varyasyon gösteren DNA lokusları olarak tanımlanan mikrosatellitler, ökaryotik mikroorganizmaların genetik çalışmalarında en önemli ve bilgi verici moleküler belirteç olarak yerini korumaya devam etmektedir (1, 2). Mikrosatellitler, sıtma parazitlerinin genomik, genetik haritalama araştırmalarında, laboratuvar çaprazlamalarında ve genomlar arası ilişkinin araştırılmasında, ilaç direnci ve virülans gibi fenotiplerin araştırılmasında, klinik denemelerde tedavi başarısızlıkları ile yeni enfeksiyonlar arasındaki ayrımın yapıldığı çalışmalarda giderek artan önemiyle daha fazla kullanılmaktadır.

Son zamanlarda, *P. vivax* popülasyonlarının genotiplendirilmesinde mikrosatellitlerin kullanıldığı güvenilir yöntemler geliştirildiği bildirilmektedir (3-5). *P. vivax*'ın mikrosatellit belirteçleri kullanılarak genotiplenmesi, parazit popülasyonlarının karşılaştırılmasına olanak sağlayan araştırmaların yolunu açmıştır (3). Bu çalışmada, *P. vivax* genotiplendirmesinde en sık kullanılan mikrosatellitler ve önemi vurgulanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Web of Science'ta 2003-2024 yılları arasında yayımlanan, anahtar kelimelerinde malaria, *P. vivax*, mikrosatellitler ve genotiplendirme bulunan 37 makale araştırılmıştır. Bu makaleler içerisinde, *P. vivax* genotiplendirmesinde ilk defa kullanılan mikrosatellitler ve bu makaleleri referans alan ve aynı mikrosatellit grubunu kullanan 25 makale yer almaktadır.

Büyük ölçekli ve çok genli *P. vivax* genomun varyasyonunun araştırıldığı çalışmada *P. vivax*'ın oldukça polimorfik bir genoma sahip olduğu ve bunun ilaç ve aşı geliştirilmesi için bazı zorluklar oluşturabileceği belirtilmektedir. Aynı çalışmada, tek nükleotid polimorfizm (SNP)

'lerin *P. vivax* genomunda, *P. falciparum* genomuna göre daha yüksek sıklıkta bulunduğu görülmektedir. Aynı çalışmada, *P. vivax* genomunun polimorfik tandem tekrarları açısından zengin olduğu ve yaklaşık her 3 kb'de bir polimorfik tandem bulunduğu tespit edilmiştir (6). *P. vivax* mikrosatellitleri daha az yaygın olmasına rağmen, tek mikrosatellit sekans çalışmasının yüksek derecede allelik çeşitlilik gösterdiği rapor edilmiştir (7). Şaşırtıcı bir şekilde Leclerc ve ark. tarafından 13 mikrosatellitin çalışıldığı çalışmada sadece bir mikrosatellit polimorfik bulunmuştur. Replikasyon sırasında DNA polimerazda oluşan kayma mikrosatellit polimorfizmlerinin arkasındaki mekanizma olup, mutasyonların çok yüksek bir oranda meydana gelmesine neden olmaktadır (8). Leclerc ve ark. yapmış olduğu çalışmanın aksine, Hindistan, Tayland, Laos ve Kolombiya'dan *P. vivax* izolatlarında yüksek polimorfizme sahip mikrosatellit gruplarının tanımlandığı çalışmalar mevcuttur (5, 9). *P. vivax*'ta mikrosatellit çeşitliliğinin istisna değil, kural olduğu ve de çeşitlilik düzeylerindeki farkların olmasının nedenin tekrar dizisinin toplam uzunluğu olduğu bildirilmektedir (5, 9).

Russel ve ark. yapmış olduğu çalışmada, *P. vivax*'taki mikrosatellitlerin oldukça polimorfik olabileceğini ve bu türün popülasyon yapısını ve bulaşma dinamiklerini araştırmada önemli bir araç olabileceği, ancak, çalışma planlandığında tandem uzunluğunun dikkatlice göz önünde bulundurulmasının gerekliliği bildirilmektedir (10). Whole genom mikrosatellit amplifikasyonu için uygun bir kalıp olduğu bulgusu, bu türün daha ileri genetik çalışmaları için ışık vericidir.

Karunaweera ve ark. 2007 yılında yaptıkları çalışmada, insanlarda sıtmaya neden olan *P. vivax* için hepsi üçlü veya tetranükleotid tekrarlarından oluşan 14 polimorfik mikrosatellit (MS1, MS2, MS3, MS4, MS5, MS6, MS7, MS8, MS9, MS10, MS12, MS15, MS16, MS20) gruplarının optimize edildiği bildirilmiştir (4).

Karunaweera ve ark. 2008 yılında yayımladıkları makalede, *P. vivax*'teki mikrosatellitlerin yüksek derecede polimorfik olabileceği ve bu türün popülasyon yapısı ve bulaşma dinamiklerini araştırmak için değerli bir araç olduğu belirtilmektedir (11).

P. vivax 14 mikrosatellit DNA lokusunun çalışıldığı başka bir çalışmada, *P. vivax* mikrosatellit DNA'sını kullanarak yapılan moleküler epidemiyolojinin, parazit bulaşma dinamikleri ve popülasyon yapısının zaman içindeki değişiminin değerlendirilmesinde etkili olacağı ve sıtma endemik bölgelerde *P. vivax* sıtmasının ortadan kaldırılmasına yarar sağlayacağı bildirilmektedir (12).

P. vivax için, daha önce tanımlanan 10 potansiyel nötr mikrosatellitin (MS1, MS2, MS5, MS6, MS7, MS9, MS10, MS12, MS15 ve MS20) genotiplendirildiği başka bir çalışmada iller arasında genetik farklılaşmanın zamanla artmasına rağmen, herhangi bir zaman diliminde anlamlı bir popülasyon yapısı gözlemlenmediği, bulaşmanın azaldığı erken dönemlerde geleneksel epidemiyolojik araçlara ek olarak mikrosatellitlerin yararlı olacağı bildirilmektedir (13). *Plasmodium vivax* genotipleme belirteçlerinin araştırıldığı başka bir çalışmada, en yüksek genetik çeşitliliği gösteren mikrosatellitler sırasıyla 66 ve 31 farklı alel ile MS16 ve Pv3.27 bulunmuştur (14).

P. vivax genotiplendirilmesinde en sık kullanılan mikrosatellitlerin yer aldığı çalışmalar çizelge 1’de özetlenmiştir.

Çizelge 1. *P.vivax*’ın genotiplendirilmesinde en sık kullanılan mikrosatellitler

Referans Numaraları																
NO	Lokus	(1)	(3)	(5)	(15)	(16)	(7)	(17)	(9)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)
1	MS1	X	X		X	X		X		X	X	X				X
2	MS2				X	X		X			X	X				X
3	MS3	X			X	X		X			X	X		X		X
4	MS4	X			X	X		X		X	X	X				
5	MS5	X	X		X	X		X		X	X	X		X		
6	MS6	X			X	X				X	X	X				
7	MS7	X	X		X	X		X		X	X	X		X		X
8	MS8	X			X	X	X	X		X	X	X				X
9	MS9	X			X	X	X			X	X	X				
10	MS10	X			X	X		X			X	X		X		X
11	MS11													X		
12	MS12	X			X	X	X	X		X	X	X				
13	MS14						X									
14	MS15	X			X	X		X		X	X	X				
15	MS16				X	X	X	X			X					
16	MS20	X			X	X		X		X	X	X				X
17	3.27		X	X												
18	13.239			X												
19	11.162			X												
20	6.34		X	X					X							
21	8.504		X	X												
22	3.503			X												
23	14.297			X												
24	1.501		X	X											X	
25	3.502		X	X											X	
26	14.185								X							
27	12.335								X							
28	7.67								X							
29	NA1276								X							
30	NA2208								X							
31	4.2771								X							
32	8.332								X							
33	2.21								X							
34	10.29								X							
35	3.35								X							
36	PvMS1												X			
37	PvMS2												X			
38	PvMS3												X	X		
39	PvMS4												X			
40	PvMS5												X	X		
41	PvMS6												X			
42	PvMS7												X	X		
43	PvMS8												X			
44	PvMS9												X			
45	PvMS10												X	X		
46	PvMS11												X	X		

Çalışmalarda ki toplam mikrosatellit tür sayısı	12	8	9	9	14	5	12	11	10	14	13	11	10	2	7
---	----	---	---	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----	---	---

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

P.vivax mikrosatellitlerinin yer aldığı çalışmalar, bol miktarda SNP ve polimorfik tandem tekrarlar içeren genetik çeşitliliğe sahip bir tür olarak ortaya çıkan *P. vivax* popülasyonlarının daha ileri genetik karakterizasyonunda mikrosatellitlerin yararlı araçlar olabileceği ifade edilmektedir. Bunlara ilaveten bu polimorfik tekrarların kolayca amplifiye edilebilmesi, agaroz jelde görüntülenebilmesi, bu belirteçleri *P. vivax*'in endemik olduğu bölgelerdeki laboratuvarlarda kullanışlı hale getirmektedir. *P.vivax* mikrosatellitlerinin gelecekteki değeri, belirli fenotipik özellikleri tanımlarken ya da yerel popülasyon dinamikleri ve alt yapıları incelerken bir izolatın haplotipinin tanımlanma yeteneğine dayanmaktadır. *P. vivax* malaryasında ilaç tedavisinin başarısız olduğu durumda mikrosatellitlerin relaps, rekrüdesens ve reinfeksiyon ayırımında yarar sağlayacağı belirtilmiştir. Yüksek oranda polimorfik mikrosatellitler, genotiplendirme analizlerinin temelini oluşturmakta ve yüksek genetik çeşitlilik düzeylerini ve çoklu klon enfeksiyonlarını ortaya koymaktadır (7, 9, 11, 16) ve ülke içinde lokal sıtma salgınlarnın haritalanmasında faydalı olmuştur (17, 25).

KAYNAKÇA

1. Orjuela-Sanchez P, Sa JM, Brandi MC, Rodrigues PT, Bastos MS, Amaratunga C, et al. Higher microsatellite diversity in Plasmodium vivax than in sympatric Plasmodium falciparum populations in Pursat, Western Cambodia. Exp Parasitol. 2013;134(3):318-26.
2. Guichoux E, Lagache L, Wagner S, Chaumeil P, Léger P, Lepais O, et al. Current trends in microsatellite genotyping. Mol Ecol Resour. 2011;11(4):591-611.
3. Thanapongpichat S, McGready R, Luxemburger C, Day NPJ, White NJ, Nosten F, et al. Microsatellite genotyping of Plasmodium vivax infections and their relapses in pregnant and non-pregnant patients on the Thai-Myanmar border. Malaria Journal. 2013;12.
4. Karunaweera N, Ferreira M, Hartl D, Wirth D. Fourteen polymorphic microsatellite DNA markers for the human malaria parasite Plasmodium vivax. Mol Ecol Notes. 2007;7:172-5.
5. Imwong M, Nair S, Pukrittayakamee S, Sudimack D, Williams JT, Mayxay M, et al. Contrasting genetic structure in Plasmodium vivax populations from Asia and South America. Int J Parasitol. 2007;37(8-9):1013-22.
6. Feng X, Carlton JM, Joy DA, Mu J, Furuya T, Suh BB, et al. Single-nucleotide polymorphisms and genome diversity in *Plasmodium vivax*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2003;100(14):8502-7.
7. Gomez JC, McNamara DT, Bockarie MJ, Baird JK, Carlton JM, Zimmerman PA. Identification of a polymorphic Plasmodium vivax microsatellite marker. Am J Trop Med Hyg. 2003;69(4):377-9.

8. Leclerc MC, Durand P, Gauthier C, Patot S, Billotte N, Menegon M, et al. Meager genetic variability of the human malaria agent *Plasmodium vivax*. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2004;101(40):14455-60.
9. Imwong M, Sudimack D, Pukrittayakamee S, Osorio L, Carlton JM, Day NP, et al. Microsatellite variation, repeat array length, and population history of *Plasmodium vivax*. *Molecular biology and evolution*. 2006;23(5):1016-8.
10. Russell B, Suwanarusk R, Lek-Uthai U. *Plasmodium vivax* genetic diversity: microsatellite length matters. *Trends Parasitol*. 2006;22(9):399-401.
11. Karunaweera ND, Ferreira MU, Munasinghe A, Barnwell JW, Collins WE, King CL, et al. Extensive microsatellite diversity in the human malaria parasite *Plasmodium vivax*. *Gene*. 2008;410(1):105-12.
12. Iwagami M, Hwang SY, Kim SH, Park SJ, Lee GY, Matsumoto-Takahashi ELA, et al. Microsatellite DNA Analysis Revealed a Drastic Genetic Change of *Plasmodium vivax* Population in the Republic of Korea During 2002 and 2003. *Plos Neglected Tropical Diseases*. 2013;7(10).
13. Kattenberg JH, Razook Z, Keo R, Koepfli C, Jennison C, Lautu-Gumal D, et al. Monitoring *Plasmodium falciparum* and *Plasmodium vivax* using microsatellite markers indicates limited changes in population structure after substantial transmission decline in Papua New Guinea. *Molecular Ecology*. 2020;29(23):4525-41.
14. Koepfli C, Mueller I, Marfurt J, Goroti M, Sie A, Oa O, et al. Evaluation of *Plasmodium vivax* Genotyping Markers for Molecular Monitoring in Clinical Trials. *The Journal of Infectious Diseases*. 2009;199(7):1074-80.
15. Karunaweera ND, Ferreira MU, Hartl DL, Wirth DF. Fourteen polymorphic microsatellite DNA markers for the human malaria parasite *Plasmodium vivax*. *Mol Ecol Notes*. 2007;7(1):172-5.
16. Ferreira MU, Karunaweera ND, da Silva-Nunes M, da Silva NS, Wirth DF, Hartl DL. Population structure and transmission dynamics of *Plasmodium vivax* in rural Amazonia. *J Infect Dis*. 2007;195(8):1218-26.
17. Gunawardena S, Karunaweera ND, Ferreira MU, Phone-Kyaw M, Pollack RJ, Alifrangis M, et al. Geographic structure of *Plasmodium vivax*: microsatellite analysis of parasite populations from Sri Lanka, Myanmar, and Ethiopia. *Am J Trop Med Hyg*. 2010;82(2):235-42.
18. Iwagami M, Fukumoto M, Hwang SY, Kim SH, Kho WG, Kano S. Population structure and transmission dynamics of *Plasmodium vivax* in the Republic of Korea based on microsatellite DNA analysis. *PLoS Negl Trop Dis*. 2012;6(4):e1592.
19. Iwagami M, Hwang SY, Kim SH, Park SJ, Lee GY, Matsumoto-Takahashi EL, et al. Microsatellite DNA analysis revealed a drastic genetic change of *Plasmodium vivax* population in the Republic of Korea during 2002 and 2003. *PLoS Negl Trop Dis*. 2013;7(10):e2522.
20. Karunaweera ND, Ferreira MU, Munasinghe A, Barnwell JW, Collins WE, King CL, et al. Extensive microsatellite diversity in the human malaria parasite *Plasmodium vivax*. *Gene*. 2008;410(1):105-12.

21. Rezende AM, Tarazona-Santos E, Fontes CJ, Souza JM, Couto AD, Carvalho LH, et al. Microsatellite loci: determining the genetic variability of *Plasmodium vivax*. *Trop Med Int Health*. 2010;15(6):718-26.
22. Carlton JM, Adams JH, Silva JC, Bidwell SL, Lorenzi H, Caler E, et al. Comparative genomics of the neglected human malaria parasite *Plasmodium vivax*. *Nature*. 2008;455(7214):757-63.
23. Schousboe ML, Ranjitkar S, Rajakaruna RS, Amerasinghe PH, Konradsen F, Morales F, et al. Global and local genetic diversity at two microsatellite loci in *Plasmodium vivax* parasites from Asia, Africa and South America. *Malar J*. 2014;13:392.
24. Menegon M, Bardají A, Martínez-Espinosa F, Bôtto-Menezes C, Ome-Kaius M, Mueller I, et al. Microsatellite Genotyping of *Plasmodium vivax* Isolates from Pregnant Women in Four Malaria Endemic Countries. *PLOS ONE*. 2016;11(3):e0152447.
25. Karunaweera ND, Galappaththy GNL, Wirth DF. On the road to eliminate malaria in Sri Lanka: lessons from history, challenges, gaps in knowledge and research needs. *Malaria Journal*. 2014;13(1):59.

CANDIDA ALBICANS'A KARŞI ALOE VERA BİTKİ EKSTRAKTLARININ ANTİFUNGAL ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Gülcan GÜRSES

Harran Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü
E-posta : ggurses@hotmail.com- ORCID:0000-0002-8569-9863

Prof. Dr. Nebiye YENTÜR DONİ

Harran Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Mikrobiyoloji ABD
E-posta: n_doni@hotmail- ORCID: 0000-0002-0383-4970

ÖZET

Candida albicans, yüzeysel ve sistemik enfeksiyonlara neden olabilen bir mantar türüdür. Özellikle immün sistemin zayıflamasıyla birlikte hastane enfeksiyonlarına ve fırsatçı enfeksiyonlara sebep olabilmektedir. Antifungal tedavi alan hastalarda direnç gelişiminin artış göstermesiyle birlikte bitkisel içeriklerin antimikrobiyal etkinliklerinin saptanmasıyla ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Aloe vera bitkileri geleneksel tedavide antiinflamatuvar, antibakteriyel, antioksidan, yara iyileştirici ve laksatif etkileri nedeniyle birçok alanda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Aloe vera bitki ekstraktlarının *Candida albicans* üzerinde antifungal etkisinin belirlenmesi amacıyla minimum inhibitör konsantrasyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Aloe vera bitkileri hekzan, etanol, aseton ve etil asetat çözücüleri kullanılarak maserasyona tabi tutulmuştur. Ekstraktların konsantrasyonu 16 mg/ml olacak şekilde distile su ile ayarlanmıştır. *Candida albicans* (ATCC 10231) suşu sabouroud dekstroz agar besiyerinde üretilerek yoğunluğu 0.5 McFarland olacak şekilde *Candida albicans* süspansiyonu ayarlanmıştır. 96 kuyucuklu mikroplyette tüm kuyucuklara 100 µl RPMI 1640 sıvı besiyeri ve hazırlanan bitki ekstraktlarından eklenerek son konsantrasyonlar 62,5, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 µg/ml olacak şekilde seri dilüsyonlar yapılmıştır. 0.5 McFarland yoğunluğunda hazırlanan *Candida albicans* süspansiyonundan her kuyucuğa 50 µl eklenmiştir. Mikroplyetler 24-48 saat boyunca 37°C'de etüvde inkübe edildikten sonra *Candida* üremesinin görülmediği son kuyucuk konsantrasyonu minimum inhibitör konsantrasyonu (MİK) olarak değerlendirilmiştir.

Farklı çözücülerle hazırlanan bitki ekstraktlarının *Candida albicans* üzerindeki minimum inhibitör konsantrasyonları incelendiğinde, etanol, etil asetat, aseton ve hekzan ekstraktı için 500 µg/ml MİK değeri saptandığı görülmüştür. Hazırlanan ekstraktların *Candida albicans*'a karşı antifungal etki gösterdiği saptanmıştır. Aloe vera bitkisiyle yapılacak farklı çalışmalarla birlikte, bu bitkilerin antifungal ajan olarak yeni kullanım alanları bulabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Aloe vera, *Candida albicans*, Antifungal etki

ANTIFUNGAL EFFECT OF ALOE VERA PLANT EXTRACTS AGAINST CANDIDA ALBICANS

ABSTRACT

Candida albicans is a fungal species that can cause superficial and systemic infections. It can cause nosocomial infections and opportunistic infections, especially in patients with weakened immune system. Due to the increase in the development of resistance in patients receiving antifungal treatment, studies on the determination of antimicrobial activity of herbal ingredients have increased. Aloe vera plants are used in traditional treatment in many areas due to their anti-inflammatory, antibacterial, antioxidant, wound healing and laxative effects.

In this study, it was aimed to determine the minimum inhibitory concentrations of Aloe vera plant extracts to determine their antifungal effect on *Candida albicans*. Aloe vera plants were macerated using hexane, ethanol, acetone and ethyl acetate solvents. The concentration of the extracts was adjusted to 16 mg/ml with distilled water. *Candida albicans* (ATCC 10231) strain was grown on Sabouraud dextrose agar medium and *Candida albicans* suspension was adjusted to a density of 0.5 McFarland. In a 96-well microplate, 100 µl of RPMI 1640 liquid medium and prepared plant extracts were added to all wells and serial dilutions were made with final concentrations of 62.5, 125, 250, 500, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 µg/ml. 50 µl of *Candida albicans* suspension prepared at 0.5 McFarland density was added to each well. After incubating the microplates in an oven at 37°C for 24-48 hours, the last well concentration in which no *Candida* growth was observed was evaluated as the minimum inhibitory concentration (MIC).

When the minimum inhibitory concentrations of plant extracts prepared with different solvents on *Candida albicans* were examined, it was observed that 500 µg/ml MIC value was determined for ethanol, ethyl acetate, acetone and hexane extracts. The extracts showed antifungal activities against *Candida albicans*. It is thought that with different studies to be carried out with Aloe vera plants, these plants may find new areas of use as antifungal agents.

Key words: Aloe vera, *Candida albicans*, antifungal effect

1. GİRİŞ

Candida albicans kutanöz ve sistemik enfeksiyonlara sebep olabilen önemli bir mantar türüdür. Flora dengesinin bozulması ve bağışıklık sisteminin zayıflamasıyla birlikte fırsatçı enfeksiyonlara neden olabilmektedir (Mayer ve ark., 2013, Odds, 1987). Kandidiyazis, insanlarda deri, ağız boşluğu (orofaringeal kandidiyazis) yemek borusu (özofageal kandidiyazis), gastrointestinal sistem, vajina ve vasküler sistemin yaygın bir enfeksiyonu olarak ortaya çıkmaktadır. *Candida*

albicans, kanda, merkezi sinir sisteminde, gözlerde, kemiklerde ve iç organlarda yüksek mortaliteyle seyredabilen invazif kandidiyazise yol açabilmektedir (Calderone ve ark., 2001, WHO, 2024).

Özellikle uzun süreli tedavi gerektiren veya antifungal tedavi alan hastalarda antifungal ilaçlara karşı direnç gelişimi giderek daha belirgin hale gelmiştir. Floranın daha dirençli türlere doğru değiştiği düşünülmektedir (Loeffler ve ark., 2003). Son zamanlarda bitkisel bileşenlerin alternatif tedavi seçeneği olarak düşünülmesi, bitkilerin antimikrobiyal ajan olarak etkinliklerinin saptanması çalışmalarını artırmıştır.

Aloe vera bitkileri geleneksel tedavi olarak sağlıkla ilgili pek çok alanda kullanılmaktadır. Aloe vera etli ve dikenli yaprakları olan, çok yıllık bir bitkidir. Aloe vera yapraklarının % 99-99,5'ini su oluştururken; geri kalan katı madde bölümü ise yaklaşık 200 çeşit biyolojik aktif bileşen içermektedir (Upton ve ark., 2012). Aloe vera antiinflamatuvar, antibakteriyel, antioksidan, yara iyileştirici ve laksatif etkisi gibi geniş çapta farmakolojik etkileri sayesinde, birçok kullanım alanına sahiptir (Kumar ve ark., 2014). Bu çalışmada Aloe vera bitki ekstraktlarının *Candida albicans* üzerinde antifungal etkisinin belirlenmesi amacıyla minimum inhibitör konsantrasyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Bitki ekstraktlarının hazırlanması:

Aloe vera bitkileri hekzan, etanol, aseton ve etil asetat çözücülerini kullanılarak maserasyona tabi tutuldu. Ürünler Whatman no 1 filtre kağıdında filtrelendi ve ekstraktlar tartılarak distile su ile konsantrasyon 16 mg/ml olacak şekilde ayarlandı. Aloe vera ekstraktları kullanılabildiği kadar +4 derecede buzdolabında saklandı.

2.2. *Candida albicans*'in üretilmesi

Çalışmada *Candida albicans* (ATCC 10231) suşu sabouroud dekstrozu agar besiyerinde üretilmek üzere 18-24 saat etüvde inkübasyona bırakıldı. Üreyen kültürden özeye alınan kolonilerle, saline solusyonda yoğunluğu 0.5 McFarland olacak şekilde *Candida albicans* süspansiyonu ayarlandı.

2.3. Mikropleyt mikrodilüsyon testi

U tabanlı 96 kuyucuklu mikropleytle tüm kuyucuklara 100 µl RPMI 1640 sıvı besiyeri eklendi. Hazırlanan bitki ekstraktlarından 100 µl ilk kuyucuğa eklenerek konsantrasyonlar 62,5, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 µg/ml olacak şekilde seri dilüsyonlar yapıldı. 0.5 McFarland yoğunluğunda hazırlanan *Candida albicans* süspansiyonundan her kuyucuğa 50 µl eklendi. Mikropleytlar 24-48 saat boyunca 37°C'de etüvde inkübe edildi. *Candida* üremesinin görülmediği son kuyucuk konsantrasyonu minimum inhibitör konsantrasyonu (MİK) olarak değerlendirildi. Kontaminasyon kontrolü için yalnızca bitki ekstraktları kuyucuklara eklendi (negatif kontrol). *Candida albicans* üremesinin kontrolü için RPMI 1640 besiyerine sadece *Candida albicans* inokulasyonları yapıldı (pozitif kontrol).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Aloe vera bitki ekstraktlarının antifungal etkisini değerlendirmek üzere çalışmada 96 kuyucuklu mikropleyt dilüsyon yöntemi ile MİK değerleri saptanmıştır. Farklı çözücülerle hazırlanan bitki ekstraktlarının *Candida albicans* üzerindeki minimum inhibitör konsantrasyonları incelendiğinde, etanol, etil asetat, aseton ve hekzan ekstraktı için 500 µg/ml MİK değeri saptandığı görülmüştür. Farklı çözücülerde hazırlanan Aloe vera ekstraktlarının *Candida albicans*'a karşı saptanan MİK değerleri çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Aloe vera ekstraktlarının antifungal aktivitesi MİK değerleri (µg/ml)

Ekstrakt	<i>Candida albicans</i> MİK
Etanol	500 µg/ml
Etil asetat	500 µg/ml
Aseton	500 µg/ml
Hekzan	500 µg/ml

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Aloe vera bitkilerinin antifungal aktivitesinin gösterilmesi için farklı yöntemlerle çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde genel olarak bitkinin antifungal etkisinin bulunduğu belirtilmiştir. Aloe vera etanol ekstraktı ile yapılan çalışmada müller hinton agar besiyerinde antifungal etki gözlemlendiği belirtilmiştir (Danish ve ark., 2020). Diğer bir çalışmada *Candida albicans*'a karşı inhibisyon zonu oluşmasında Aloe vera etanol ekstraktının önemli sonuç verdiği bildirilmiştir (Nabila ve ark., 2020). Shilpa ve ark. Aloe vera jel ekstraktının *Candida* üremesini inhibe ederek etkili inhibisyonu zon çapı oluşturduğunu belirtmişlerdir (Shilpa ve ark., 2020). Farklı bitkilerle *Candida albicans*'a karşı antifungal etkinliğin ölçüldüğü diğer bir çalışmada da aloe vera bitkisinin orta derecede inhibisyon zonu oluşturduğu belirtmiştir (Doddanna ve ark., 2013). Diğer bir çalışmada, aloe vera yaprağı ekstraktının *Candida albicans*'ın büyümesini engellediği belirtilmiş ve Aloe vera yaprağı ekstraktının konsantrasyonunun yükseldikçe, oluşan inhibisyon zon çapının arttığı ve *Candida albicans*'ı inhibe etme kabiliyetinin yükseldiği bildirilmiştir (Huslina, 2017).

Aloe vera bitkilerinin antifungal etkileri saptamaya yönelik farklı yöntemlerle çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada mikrodilüsyon yöntemiyle, Aloe vera bitkilerinin *Candida albicans*'a karşı antifungal etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada Aloe vera bitki ekstraktlarının hazırlandığı tüm çözücülerde MİK değeri 500 µg/ml belirlenmiş ve ekstraktlar *Candida albicans*'a karşı antifungal etkili bulunmuştur. Aloe vera bitkisiyle yapılacak farklı çalışmalarla birlikte, bu bitkilerin antifungal ajan olarak yeni kullanım alanları bulabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Calderone, R. A., & Fonzi, W. A. (2001). Virulence factors of *Candida albicans*. *Trends in microbiology*, 9(7), 327-335.
- [2] Danish, P., Ali, Q., Hafeez, M. M., & Malik, A. (2020). Antifungal and antibacterial activity of aloe vera plant extract. *Biol Clin Sci Res J*, 2020(1), 1-8.
- [3] Doddanna, S. J., Patel, S., Sundarrao, M. A., & Veerabhadrapa, R. S. (2013). Antimicrobial activity of plant extracts on *Candida albicans*: An in vitro study. *Indian Journal of Dental Research*, 24(4), 401-405.
- [4] Huslina, F. (2017). Pengaruh ekstrak daun lidah buaya (*Aloe vera* L.) terhadap pertumbuhan jamur *Candida albicans* secara in vitro. *BIOTIK: Jurnal Ilmiah Biologi Teknologi dan Kependidikan*, 5(1), 72-77.
- [5] Kumar, S., Yadav, J.P. (2014). Ethnobotanical and pharmacological properties of *Aloe vera*: a review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 8(48), 1387–1398.
- [6] Loeffler, J., & Stevens, D. A. (2003). Antifungal drug resistance. *Clinical infectious diseases*, 36(Supplement_1), S31-S41.
- [7] Mayer, F. L., Wilson, D., & Hube, B. (2013). *Candida albicans* pathogenicity mechanisms. *Virulence*, 4(2), 119-128.
- [8] Nabila, V. K., & Putra, I. B. (2020). The effect of *Aloe vera* ethanol extract on the growth inhibition of *Candida albicans*. *Medicinski Glasnik*, 17(2), 485-489.
- [9] Odds F. C. (1987). *Candida* infections: an overview. *Critical reviews in microbiology*, 15(1), 1–5. <https://doi.org/10.3109/10408418709104444>.
- [10] Shilpa, M., Bhat, V., Shetty, A. V., Reddy, M. S., & Punde, P. (2020). Antifungal activity of aloe vera leaf and gel extracts against *Candida albicans*: an in vitro study. *World*, 11(1), 37.
- [11] Upton, R., Axentiev, P., Swisher, D. (2012). *Aloe vera* Leaf, *Aloe vera* Leaf Juice, *Aloe vera* Inner Leaf Juice. In: Upton R. (Ed), *American Herbal Pharmacopoeia*, 1–52.
- [12] World health organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240060241>. (Erişim tarihi: 30.11.2024).

NANOMALZEMELER, SENTEZ VE TARIM UYGULAMALARI

Sena GÜLER

İstanbul Üniversitesi

gulersenaa@gmail.com – ORCID ID 0009-0002-5545-5689

Prof. Dr. Nihal DOĞRUÖZ GÜNGÖR

İstanbul Üniveristesi

ndogruoz@istanbul.edu.tr - ORCID ID 0000-0002-8098-039X

ÖZET

Nanoteknoloji çalışmaları 19. yüzyılın ikinci yarısında başlamıştır. Ancak bilimsel olarak tanımı 20. yüzyılda yapılmıştır. Nanobilim temellerine dayalı bu yaklaşımın ürünleri, başta boyutlarının sağladığı yüksek yüzey alanı/hacim oranı olmak üzere manyetik, optik, elektriksel, termal, mekanik ve kimyasal özellikleriyle son dönemin popüler araçlarıdır. Organik ve inorganik temelli birçok nanomateryal vardır. Geçmişte hastalık teşhis ve tedavisinde, boya üretiminde kullanılan nanomalzemeler günümüzde hemen hemen her endüstride kendine yer bulmaktadır. Tarım, sağlık, gıda, kozmetik, petrol, inşaat gibi endüstrilerde yaygın kullanım alanları vardır. Tarımda bitki verimini arttıran; bitki için zararlı canlılardan ve kontaminasyonlardan bitkiyi koruyan; toprak, su sağlığını koruyan ve remediasyonunu sağlayan birçok nanoteknoloji uygulaması mevcuttur. Bu uygulamalarda kullanılan nanomalzemeler, kimyasal ve fiziksel olarak sentezlenebilirken doğrudan bitki ve mikroorganizma aracılığıyla sentezlendikleri yeşil sentez yöntemleri de mevcuttur. Geleneksel sentezlerde verim daha yüksek olsa da yeşil sentezle elde edilen materyalin kararlılığı daha yüksektir ve toksik etkisi yok veya daha düşüktür. Nanomateryaller tek başına kullanılabilirdiği gibi organik veya inorganik başka materyallerle beraber de kullanılabilir. Beraber kullanım nanomateryalin kararlılığını korumasını, verimini arttırmasını ve tekrar kullanılabilirliğine imkân tanınmasını sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: nanoteknoloji, nanomateryal, tarım, yeşil sentez.

ABSTRACT

Nanotechnology studies began in the second half of the 19th century. However, its scientific definition was made in the 20th century. The products of this approach, based on nanoscience, are popular tools of the last period due to their magnetic, optical, electrical, thermal, mechanical and chemical properties, especially the high surface area/volume ratio provided by their size. There are many organic and inorganic based nanomaterials. Nanomaterials have been used in the past for the diagnosis and treatment of diseases and in the production of paints. Nanomaterials are present in almost every industry today. It has widespread use in industries such as agriculture, health, food, cosmetics, oil and construction. There are many

nanotechnology applications in agriculture that increase plant yield, protect plants from harmful organisms and contamination, protect soil and water health, and provide remediation. The materials used in these applications can be synthesized chemically and physically. There are also green synthesis methods where they are synthesized directly through plants and microorganisms. Although the yield is higher in traditional syntheses, the material obtained by green synthesis has higher stability and has no or lower toxic effects. Nanomaterials can be used alone or with other organic or inorganic materials. Combined use ensures that the nanomaterial maintains its stability, increases its efficiency and allows for reusability.

Key Words: Nanotechnology, nanomaterial, agriculture, green synthesis.

1. GİRİŞ

Nanoteknoloji, 1-100 nanometre (nm) aralığındaki nesnelere ilgilene nanobilim temellerine dayalı pratik ve mühendislik yaklaşımlarıdır.

Bir ölçüğü 100 nm’den küçük olan yapılar ilk defa 1857 yılında altın nanoparçacıklar üreten Micheal Faraday’ın, nanoyapılı altının kırmızı renk yaydığını gözlemlemesiyle keşfedilmiştir ancak bir tanımlama yapılamamıştır (Faraday, 1857; Hammami ve Alabdallah, 2021). 1974 yılında Japon bilim insanı Norio Taniguichi tarafından ise “Nanoteknolojinin Temel Konsepti Üzerine (On the Basic Concept of Nanotechnology)” makalesinde tanımlanmıştır (Hussain vd., 2023).

Nanomalzemeler geçmişte hastalık teşhis ve tedavilerinde; cam, kumaş gibi çeşitli materyallerin boyanmasında kullanılmaktaydı (Ijaz vd., 2020). Günümüzde ise kullanım alanları daha da genişledi; tarım, mediyasyon, petrol ve çeşitli endüstriyel prosesler, katalitik prosesler, binalar ve yapı malzemeleri, gıda, kozmetik, teşhis, tedavi ve ilaç, biyoteknoloji ve daha birçok uygulama ve endüstride önemli konuma sahip materyallere dönüştüler.

Nanomalzemeler 1 mikrometreden (μm) küçük inorganik veya organik materyallerdir. Boyut, morfoloji ve kimyasal yapısına göre sınıflandırılabilirler. Nanomateryaller boyutlarına göre 4 alt kategoriye ayrılırlar; kuantum noktaları olan 0 boyutlu nanomateryaller, nanokatkıların oluşturduğu ince film yapılı 1 boyutlu nanomateryaller, nano-tel/çubuk/tüplerin oluşturduğu 2 boyutlu nanomateryaller, nanopartiküller ve diğer tüm boyutlu yapıların birleşerek oluşturabildiği 3 boyutlu nanomateryallerdir (Ijaz vd., 2020; Saleh, 2020).

Nanomalzemelerin yapı ve yapısal hareketleri moleküler yapılarından etkilenmektedir. Aynı zamanda sentezlendikleri koşullar yapısal formlarını etkilemektedir. pH, sıcaklık, sentez süresi ve orijini nanopartikülün formunu belirlemede önemli etmenlerdir (Hammami ve Alabdallah, 2021).

Bir materyalde nano ölçüğe inildiğinde özgül yüzey alan oranı artar. Bu da materyalin yüzeyindeki atom sayısını artırır. Atom sayısındaki bu artış kuantum etkisiyle materyalin manyetik, optik, elektriksel, termal, mekanik ve kimyasal özellikleri değişiklik ve çeşitlilik göstermektedir. Bu nedenle yüksek yüzey alanı/hacim oranı nanomateryallerin en avantajlı

özellikleridir. Bunun yanında nanopartiküllerin, hücreler tarafından alınmaları ve biyoaktif iyonları serbest bırakma yetenekleri canlılar için iki önemli özellikleridir (Loza *vd.*, 2020). Bu yetenekleri sayesinde hem biyoyumlu yapıdadırlar hem de buldukları ortamlarla kolaylıkla etkileşime girebilmektedirler.

1.1.Nanomalzemeler

Metal, metal oksit, bimetalik, kompozit, karbon bazlı, zeolit ve silika bazlı, seramik, moleküler elektronik (kuantum noktaları), polimerik, lipid bazlı, biyo nanomalzemeler çeşitli yapı ve boyutlarda bulunabilmektedir (Saleh, 2020).

Metal nanomalzemeler, platin (Pt), paladyum (Pd), nikel (Ni), rutenyum (Ru), alüminyum (Al), gümüş (Ag), altın (Au) ve bakır (Cu) elementleri başta olmak üzere metal elementlerinden oluşmaktadır. Bu elementler kimyasal veya biyolojik olarak sentezlenebilir. Bu nanomateryaller genellikle biyoyumlu yapıda, antimikrobiyal ve kimyasal olarak inaktif özelliktedirler. Bu özellikler nedeniyle tıp alanında ilaç ve nükleik asit taşıma sistemlerinin, gen terapilerinin, kanser tedavilerinin ve tıbbi görüntüleme ve teşhis süreçlerinin önemli etmenleridir (Saleh, 2020; Padilla-Cruz *vd.*, 2021). Aynı zamanda kapsülasyonda kullanımıyla deterjan endüstrisinde ve bitki ilaçlama sistemlerinde de uygulamaları görülmektedir. Yüksek iletken özellikleri ile elektronların hızlı taşınmasına olanak vermekte ve bu yetenekleri nedeniyle nanosensörlerde kullanım alanı bulmaktadır (Saleh, 2020; Hammami ve Alabdallah, 2021). Ayrıca yakıtlara eklenen metal nanoparçacıklarla oksidasyon düşürülerek yakıt tüketimi verimi artırılabilir ve makinelerde motor sağlığı daha çok korunabilmektedir (Çakmak, 2024).

Metal oksit nanomateryaller genelde titanyum (Ti), demir (Fe), çinko (Zn), alüminyum (Al), silisyum (Si) gibi elementlerin oksit moleküllerinden oluşur. Başlıca demir oksit nanomateryaller manyetit (Fe_3O_4), maghemit ($\gamma-Fe_2O_3$), hematitlerdir (Fe_2O_3). Bunlar yüksek manyetik kuvvete sahip süper paramanyetik nanomalzemelerdir (Niculescu *vd.*, 2022; Saleh, 2020). Aynı zamanda biyodizel gibi yağ asitlerinden elde edilen Al_2O_3 gibi metal oksit nanopartiküller ile yeşil sentez sağlanabilmektedir (Çakmak, 2024). Metal oksit nanopartiküllerin yüzey modifikasyonu için çeşitli organik bileşikler kullanılabilir. Bu yüzey modifikasyonlar nanomateryallere, spesifik bağlayıcı hedef analitler ve yüksek yoğunluk gibi fiziksel ve kimyasal özellikler sağlayabilirler (Mahanty *vd.*, 2020; Saleh, 2020; Niculescu, Chircov ve Grumezescu, 2022). Genelde yarı iletken, biyoyumlu ve farklı fizikokimyasal özelliktedirler. Çeşitli metal oksit nanomateryaller atık su arıtımında, kendi kendini temizleyen tekstil ürünü eldesinde, ilaç taşınımı ve gen terapisinde, kozmetik, gıda, tarımda ilaçlama, boya endüstrilerinde ve tıbbi görüntüleme uygulamalarında kullanımlarına olanak tanımaktadır (Mahanty *vd.*, 2020; Bae *vd.*, 2022). Ek olarak metal nanopartiküller gibi inorganik nanopartiküllerdir ve bu nedenle organik nanopartiküllere göre daha kararlı yapıdadırlar (Ijaz *vd.*, 2020).

Bimetalik nanomalzemeler, iki metalin birleşiminden oluşan nanomalzemelerdir. İki metalin birleşmesi nedeniyle optik, manyetik ve elektriksel yetenek olarak gelişmiş nanomalzemelerdir. Bu yetenekleri sayesinde tanılama, görüntüleme ve terapötik uygulamalarda kullanım alanı oluşturmaktadır (Padilla-Cruz *vd.*, 2021). Birleşen metallerin çeşidi, ebat ve boyutu, miktarı nanomalzemenin özelliklerini etkileyen önemli unsurlardır (Saleh, 2020; Padilla-Cruz *vd.*,

2021). Metal çeşidi tek başına farklı oranda ve farklı mikroorganizmalara karşı etki gösterirken farklı bir metal ile birleştiği bimetal formunda etkisi yüzdesi ve alanı değişiklik gösterebilmektedir. Padilla-Cruz ve arkadaşlarının 2021 yılında Ag-Fe nanopartikülleriyle yaptığı çalışma bu duruma bir örnek oluşturmaktadır. Aynı zamanda toksik etkisi olabilen metal nanopartiküllere alternatif olarak farklı bir metal ile birleşmesi sonucu toksik etkisi daha düşük nanopartiküllerin eldesine olanak tanımaktadır. Bu sayede toksik etkisi nedeniyle kullanılmayan ancak avantajlı özelliklere sahip olan elementlerin kullanımına imkân sağlanmaktadır. Buna örnek olarak toksik etkisi sahip gümüş nanopartiküllerinin altın ile birleştirilmesi ile oluşan Ag-Au bimetal nanopartikülleri verilebilir (Loza, Heggen ve Epple, 2020). Birleşen iki metal aynı anda indirgenirse alaşım nanopartiküller oluşurken metaller sıralı veya aşamalı olarak indirgenirlerse çekirdek-kabuk yapısında nanoparçacıklar oluşur (Ijaz vd., 2020; Loza vd., 2020). Bu çeşit nanopartiküllerin eldesinde en yaygın sentez yöntemi lazer ablasyonudur. Katı yüzeyin lazer ile işlenmesi sonucu alaşım yapısında nanopartiküller elde edilir. Ancak metalik nanopartiküllerin sentez yolları da kolaylıkla bimetal nanopartikül sentezine uygulanabilmektedir. Bu çeşitli protokoller alaşım veya çekirdek-kabuk yapısı nedeniyle genelde küresel yapıda olan bimetalik nanopartiküllerin çubuk, tüp, tel gibi farklı formlarda olmasına olanak tanır (Loza, Heggen ve Epple, 2020).

Kompozit nanomalzemeler, birden fazla bileşenden oluşan malzemelerdir. Bimetal nanomalzeme prensibine benzer yapıdadır ancak iki metal bileşenden değil farklı bileşenlerin bir araya gelmesi ile oluşur. Çeşitli kombinasyonlar ile nanomateryalin elektrostatik etkileşimleri nedeniyle biyouyumluluğu, toksisitesi, esneklik ve dayanıklılığı, absorbans yeteneği, optik özellikleri, aşınma ve parlaklık tutma yetenekleri değişiklik göstermektedir (Saleh, 2020; Kong vd., 2022). Kimyasal sentezlenen kompozit nanomalzemeler daha yaygınken son dönemde yeşil sentez kompozit nanomalzeme çalışmaları da öne çıkmaktadır. Karbon bazlı nanomalzemelerin etrafına *Shewanella putrefaciens*, *Bacillus sphaericus* bakterilerinden elde edilen ekstraselüler matriks (EPS) kaplanarak kompozit nanomalzeme oluşum çalışmaları mevcuttur. Bu tür kaplamalar nanomalzemenin tek başına sağladığı verimin üstünde bir verim sağlayabilmektedir (Moriwaki ve Yamamoto, 2013; Xu vd., 2022). Bunun yanı sıra demir nanopartikülleri etrafına kaplanmış malzemelerle yapılan çalışmalar da vardır. Yapılan kaplamalar ile demir iyonlarının oksitlenme oranı düşürülürken demir nanopartiküllerin tek başına tutma kapasitesinin verimini arttırmaktadır (Yan vd., 2023). Bu malzemeler kimyasal kökenli ve biyolojik kökenli olabilir. Ancak kimyasal kökenli olanlar bir kirleticiyi ortamdaki temizlerken ikinci bir kirleticisi olarak ortamı kontamine edebilmektedir. Ancak biyolojik kökenli kaplamalar yapıldığında bu durum gerçekleşmemektedir. Bu nedenle biyolojik kökenliler kimyasal kökenlilere göre önemli derecede avantaj sağlamaktadır (Yan vd., 2023).

Karbon bazlı nanomateryaller atom bazında düzenlemelere imkân vermektedir. Bu sayede amaca yönelik ürün tasarımını mümkün kılmaktadır. Elektriksel iletkenlikleri, elektron afiniteleri, dayanıklı yapısı ile çok yönlü özelliklere sahiptir (Ijaz vd., 2020). Bu grubun son dönemdeki en popüler malzemesi grafendir. Yüksek elektrik ve termal iletkenliğe sahip bu materyaller hafif, esnek ve dayanıklılığı yüksektir. Kimyasal olarak inaktif özelliktedirler. Grafen sarmal yapısı oluşturularak nanotüp eldesini sağlamaktadır. Nanotüp yapısı oluşurken

sarmalların boyut ve ebatlarındaki değişimlerle nanotüpün kimyasal etkileşimleri farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle grafen nanotüpler nanosensör üretim ve uygulamaları için önemlidir. Grafenin eliptik formu fullerendir. Doğada az miktarda bulunmasının yanı sıra antioksidan özelliğindedir. Azot ve oksijen gibi reaktif türleri nötralize etme özelliğine sahiptir. Bu nedenle yapay fotosentez, kozmetik, yüzey kaplama gibi uygulama alanları mevcuttur. Bir başka karbon bazlı nanomateryal nanoelmaslardır. Optik ve manyetik özellikleri ile öne çıkan nanoelmasların mukavemeti de yüksektir. Bu nedenle kaplama, aşındırıcı ve yarı iletkenler için kullanılır (Saleh, 2020).

Zeolit ve silika bazlı nanomalzemeler büyük yüzey alanına sahip nanomateryal eldesine izin vermektedir. Gözenekli yapılarının olması, partiküllerin kolay şekillendirilebilme ve boyutlandırılabilme, gideceği noktaya kadar yapısının stabilitesini koruyabilme yeteneği sayesinde etkin ilaç taşıma sistemlerinde kullanımı öne çıkmaktadır. Mezogözenekli yapıları ile bu materyaller pH, tuzluluk gibi ortam konsantrasyonlarına göre veya hidrofobisiteye göre yapılarının stabil kalmasına veya uygun ortamda parçalanmasına imkân verebilmektedir. Silika nanopartiküllerin füme silika, koloidal silika, silika jel ve silika aerojel formlarında kullanımı yaygındır (Shafiei, Nasrollahzadeh ve Iravani, 2021). Biyosensör, biyotaşıyıcı, biyobelirteç gibi kullanım alanlarının yanı sıra tarım sektöründe böcek zararlılarının engellenmesi için de önemli bileşenlerdir (Pieła *vd.*, 2020; Shafiei, Nasrollahzadeh ve Iravani, 2021). Çeşitli kimyasal ve sol-jel yöntemi, çöktürme gibi fiziksel sentezlerinin yanı sıra çeşitli mantar, bitki ve maya türleri ile yeşil sentezi de mümkündür (Pieła *vd.*, 2020; Zamani *vd.*, 2020). Bitkiler topraktan çeşitli formlarda silisyum alarak bünyelerinde biriktirebilir. Bu çeşitli kimyasal yollarla bitki bünyesinden ayrılabilir. Ancak bu yöntemler elde edilen silikanın toksik özellikte olmasını sağlayabilir veya bu silika elde edilirken etrafa çeşitli kirleticiler yayılabilir. Mantar veya mayaların kullanıldığı biyolojik yollarla bu durumların önüne geçilebilmektedir (Pieła *vd.*, 2020).

Seramik nanomalzemeler, metalik olmayan nanomalzemelerdir. Kristal, gözenekli veya içi boş yapıda olan formları mevcuttur (Ijaz *vd.*, 2020). Ayrıca bazı metal katkılı nanoseramiklerde, metal bileşen yapısal bozunmanın ve oksijen boşluklarının ortadan kalkmasını sağlayabilecek katkılama konsantrasyonunu değiştirerek materyalin yapısal ve fiziksel özelliklerini geliştirebilir (Saleh, 2020). Bunlar gelişmiş yapısal, elektro-optik, süperiletken, ferromanyetik ve ferroelektrik özelliklere sahiptir (Kermanian *vd.*, 2020; Liu *vd.*, 2024).

Moleküler Elektronikler (Kuantum noktaları), binlerce atom barındırabilen yapay atomlardır. Çekirdek kısmında metal iyonu barındırırken yüzeyi polimerle kaplıdır. Çekirdeğindeki metal atomunun ve yüzeyindeki polimerin yönlendirmesi ile optik özellik göstermektedir. Optik özellikleri ile görüntüleme teknolojileri için avantajlıdır. Işık emisyonu diğer seçeneklere göre daha yüksek olduğu için hassas ve daha net görüntüleme sonuçlarına imkân tanımaktadır (Ijaz *vd.*, 2020; Saleh, 2020).

Polimerik nanomalzemeler sentetik veya doğal materyallerden oluşabilir. Genelde farmostatik veya terapötik malzeme taşınmasında önemli araçlardır. Biyolojik olarak bozunabilir özelliğindedir. Genelde malzeme taşınımında nanokapsül (orta kısmı boş) veya nanoküre (orta

kısmı matris ile dolu) şeklinde formunda kullanılmaktadır. Monomerlerin polimerizasyonu veya hidrofilik polimerlerin iyonik jelasyonu ile üretimleri gerçekleştirilmektedir (Saleh, 2020).

Lipozomlar ve lipid bazlı nanopartiküller, organik nanopartiküllerdir. Biyouyumlu yapıdadır ve toksik özellik göstermez. Nanokapsül olarak yaygın bir kullanımları vardır. İlaç taşımını için önemli bileşenlerdir (Ijaz vd., 2020).

Biyonanomateriyaller doğrudan organizmaların bir parçası olan bileşenlerin veya virüslerin oluşturduğu gruptur. Bu grup kendi içinde hücre dışı ve içi olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Virüsler, lipoproteinler, glikoproteinler, eksozomlar, pigmentler biyonanomateriyallere örnektir (Ijaz vd., 2020; Shahin vd., 2022).

1.2. Nanomalzemelerin Sentezi

Nanopartiküller yukarıdan aşağıya (aşındırma) veya aşağıdan yukarıya (kendi kendine montaj / üst üste birikme) olmak üzere iki farklı yolla sentezlenirler.

Aşağıdan yukarıya sentezde atom seviyesinde elde edilen nanopartiküller daha sonra birleştirilerek veya farklı malzemelere entegre edilerek elde edilirler. Bu sentez yolağında genellikle çözünür tuzlar veya uygun ligandlarla koordine edilmiş metal katyonları olan uygun bir çözünür metal kaynağı mevcuttur. Bu kaynağın üzerine, güçlü bir etkiye sahip olan bir indirgeyici madde eklenerek sentez sağlanmaktadır (Loza vd., 2020). Temel düzeyde elde edilmiş nanopartiküller daha sonra sol-jel, kimyasal eş çöktürme, sonokimyasal sentez, alev sentezi (piroliz), atomik tabaka birikimi, moleküler öz-birleştirme, hidrotermal ve buhar fazı birikimi gibi yapı ve uygulamalarla birincil yapıdan kompleks yapılara dönüştürülmektedir.

Sol-jel ile sentez büyük hacimde üretim sağladığı, yüksek saflığa olanak tanıdığı ve diğer yöntemlere göre daha kolay bir yöntem olduğu için endüstriyel anlamda oldukça popülerdir. Metal, seramik ve kompozit nanomateriyallerin sentezinde yaygın bir kullanım alanı mevcuttur. Kolloid bir çözelti içerisinde asılı duran bileşenlerin pH, sıcaklık, tuz konsantrasyonu gibi etmenlerle jel formuna geçmesi ile gerçekleşen yöntemdir. Ancak bu yöntemde ikinci bir aşama mevcuttur. Yüksek veya düşük ısı ile kurutma, filtreleme, çökeltme ile jel yapısı ayrıştırılmalıdır (Ijaz vd., 2020; Bokov vd., 2021).

Piroliz/alev sentezi yöntemi kimyasal bir aşağıdan yukarı sentezidir. Az enerji gereksinimi ve düşük maliyeti nedeniyle nanopartiküllerin endüstriyel alanda en yaygın sentez yoludur. Gaz veya sıvı haldeki öncül madde püskürtülerek alev ile yakılır. Yakılma sonucu oluşan buhar vakumlu bir düzenek ile toplanarak soğutulur. Soğutma sonucu nanopartikül eldesi sağlanır. Sıcaklık, öncül çözeltinin konsantrasyonu ve içeriği burada üretilen nanopartikülün çeşidi ve boyutu için önemlidir (Ateş ve Bahçeci, 2015; Ijaz vd., 2020).

Kimyasal buhar biriktirme yönteminde reaktif gazların vakumlu bir ortama salınması ve sıcaklık ile reaksiyon vermesi sağlandıktan sonra bir yüzeyde biriktirilmesi ile nanopartikül sentezi sağlanmaktadır (Ijaz vd., 2020; Çoşğun vd., 2021).

Fiziksel buhar biriktirme yöntemi metal ve metal oksit nanopartikül sentezi için kullanılan bir yöntemdir. Metal olan veya içeren öncül maddenin vakumlu bir ortamda buharlaşması sağlandıktan sonra bir nanopartiküllerin bir yüzeye biriktirilmesi ile gerçekleşen bir yöntemdir.

Bu yöntemle elde edilen nanopartiküllerin bir yüzeye biriktirilmesi gerektiği için nano-kaplamalar için bu yöntem tercih edilmektedir. Ancak buhar biriktirme yöntemlerindeki ekipman ve koşulların sağlanması maliyetli olduğu için çok tercih edilen bir yöntem değildir (Wang *vd.*, 2023).

Moleküler öz birleştirme (kendi kendine montaj) yöntemiyle, genelde peptid veya peptid bazlı moleküllerin elektrostatik, hidrojen bağı, aromatik istifleme ve van der Waals kuvvetleri gibi etkileşimleri aracılığıyla istenen organizasyon ve yapıda kontrollü bir biçimde nanoyapıların eldesi sağlanmaktadır (Pochan ve Scherman, 2021; Chen *vd.*, 2022).

Atomik tabaka birikim yöntemi ince film tabakası oluşturma prensibine dayalı yüzey temelli bir yöntemdir. Bir buhar fazından atomik katman oluşturup üst üste birikmesi ile ince film yapıların oluşması sağlanmaktadır. Üretim esnasında farklı reaktanlar kullanılabilir. Reaksiyon ortamına sırayla farklı reaktanlar verilirken iki farklı reaktan arasında inaktif gazlarla temizleme işlemi yapılmaktadır. Böylece farklı yapısal özellikte ve içerikte nanofilm tabakaların oluşması sağlanır (Ateş ve Bahçeci, 2015; Pochan ve Scherman, 2021).

Kimyasal eş çöktürme, nanopartikül eldesinde basit prosedürlü, düşük maliyetli ve verimli yöntemlerden biridir. Reaksiyona girebilen ve nanopartikülün oluşmasını sağlayan iki çözeltilerin bir araya getirilerek reaksiyona sokulması sağlanır ve bir süre sonra çökelti gerçekleşmektedir. Çökelen madde elde edilen nanopartiküllerdir. Ancak sıvı bir ortamda reaksiyon gerçekleştiği için elde edilen materyal daha sonra kurutulmalı ve mekanik olarak parçalanmalıdır (Atul *vd.*, 2022; Kumar ve Gangawane, 2022).

Sonokimyasal yöntem, ultrasonik güç ve kimyanın birleştiği hibrit bir yöntemdir. Akustik kavitasyon tarafından oluşturulan kesme kuvvetleri, şok dalgaları, türbülans ve mikro jetler gibi yoğun fiziksel kuvvetlerden faydalanılmaktadır. Bu kuvvetler reaktanın kimyasal aktifliğini geliştirir. Bu gelişimden ve ortam şartlarından yararlanarak nanomalzeme eldesi sağlanmaktadır. Metaller, metal oksitler, sülfidler, bimetallik alaşımlar, kompozitler, bazı karbon nanomateryaller bu yöntem kullanılarak sentezlenebilmektedir (Kumar ve Gangawane, 2022; Low *vd.*, 2022; Manickam *vd.*, 2023).

Hidrotermal sentezde genelde kristal yapıları nanomalzeme eldesi sağlanmaktadır. Nanoseramik ve nanokompozit eldesi için önemli bir sentez yöntemidir. Başta yüksek sıcaklık olmak üzere, basınç ve pH değişimlerinden yararlanan bir yöntemdir. Bu parametrelerin değişimine göre boyut ve yapısal değişiklikler gerçekleştirilebilmektedir. Bu sentez yöntemiyle pH'a duyarlı nanomalzeme sentezi gerçekleştirilmektedir. Nanopartikül öncül madde ve tuzlarından oluşan çözeltilerin pH ayarları yapıldıktan sonra 180-400°C aralığında sıcaklığa maruz bırakılması ve daha sonra soğutulması ile nanopartikül eldesi sağlanır (Kermanian *vd.*, 2020; Liu *vd.*, 2024).

Yukarıdan aşağıya sentez makroskobik boyuttaki materyalin daha küçük boyuta dönüştürülmesiyle gerçekleşir. Mekanik aşındırma/öğütme, litografi, lazer ablasyonu, elektro patlama, bu sentez çeşidinin uygulama yöntemleridir (Ijaz *vd.*, 2020; Wang *vd.*, 2023).

Mekanik aşındırmada/öğütme yöntemi bilyalı öğütme olarak da bilinmektedir. Ucuz ve en basit yöntemlerden biridir. Malzemenin aşındırılarak nano boyuta getirilmesi esasına dayalıdır.

Belirli bir hız ve miktarda dönen bilyalar ile aşındırma sağlanır (Ijaz *vd.*, 2020; Shahin *vd.*, 2022).

Litografi en temel tarifi ile bir tabaka üzerine desenler basma ve üretme yöntemidir. Birçok çeşidi vardır: fotolitografi, yumuşak litografi, nano baskı litografisi, elektron ışını (demeti) litografisi, odaklanmış iyon ışını litografisi ve taramalı prob litografisi (Ijaz *vd.*, 2020; Sebastian *vd.*, 2020). En yaygın kullanımı olanlar fotolitografi ve yumuşak litografidir. Fotolitografi, aşırı UV uygulaması (EUV) olarak da bilinmekte ve desenleme işlemi için ultraviyolenin (UV) kullanıldığı litografi çeşididir. Yumuşak litografi ise alt tabaka ve baskıda elastomerik malzemelerin kullanıldığı litografi çeşididir. (Sebastian *vd.*, 2020).

Lazer ablasyonu, metalin nanopartiküllere indirgenmesini sağlar (Ijaz *vd.*, 2020). Metal bir kaynağın olduğu çözelti veya yüzeye lazer ile muamele sonucu metal veya metaloksit nanopartiküllerin sentezlenmesine olanak veren yöntemdir. Lazer ışını ile üretilen yoğun ısı öncülü buharlaştırır ve elde edilen buhar hızla soğutulmuş olarak nanopartiküller elde edilir (Wang *vd.*, 2023).

Elektro (tel) patlama yöntemi reaktif maddenin gaz formunda bulunduğu ortamda, üzerinden çok yüksek derecede akım geçirilen ve bu nedenle plazma formuna geçen ve patlayan metal tel temelli bir yöntemdir. Yüksek akım nedeniyle çok fazla ısınan ve plazma formuna geçen tel etrafındaki iyonize olmuş gaz için şok etkisi oluşturur. Şok etkisindeki bu buharın uygun inert ortamda soğutulması ile nanopartikül eldesi sağlanır. Bu yöntemde metalik nanopartiküllerin eldesi sağlanabildiği gibi nanokaplamalar da yapılabilmektedir. Kurulan sistem maliyeti yüksek olduğu için çok tercih edilen bir yöntem değildir (Ateş ve Bahçeci, 2015; Ranjan *vd.*, 2020; Suliz *vd.*, 2022).

Sentez sonucunda işlevsel nanopartiküllerin elde edilmesinin yanı sıra bazı nanopartiküllere işlev kazandırılması veya işlevselliğinin iyileştirilmesi için çeşitli modifikasyonlar uygulanmaktadır. Çeşitli yüzey özelliklerinin ve aktif bölgelerinin geliştirilmesi için moleküller arası etkileşimler değiştirilebilir. Bunlar fonksiyonel gruplar eklenerek veya modifiye edilerek kurulan bağların ve elektrostatik düzenin değiştirilmesiyle gerçekleşir.

Yeşil Sentez

Geleneksel yöntemler olan fiziksel ve kimyasal sentezin yanı sıra son yıllarda nanopartiküllerin biyolojik sentezi de öne çıkmaktadır. Bitki, mantar, maya, alg veya bakteri kökenli nanopartiküller geleneksel yöntemlerle sentezlenenlere göre daha kararlı yapıdadır ancak geleneksel sentezde ürün verimi daha yüksektir (Piela *vd.*, 2020; Hammami ve Alabdallah, 2021).

Yukarıdan aşağıya gerçekleşen yeşil sentezle genellikle metal, bimetale veya metal oksit nanopartikül eldesi sağlandığı için seçilen canlıların metal indirgeme yeteneği oldukça önemlidir (Hammami ve Alabdallah, 2021; Padilla-Cruz *vd.*, 2021). Ayrıca yeşil sentezin geleneksel yöntemlerden daha ucuz, daha güvenli, daha basit, daha hızlı ve daha kolay olduğu çeşitli çalışmalar ile raporlanmıştır (Saleh, 2020; Padilla-Cruz *vd.*, 2021). Yeşil sentez nanopartiküller biyolojik bir matris kullanılarak sentezlendiğinden, yüksek biyostabilite, fotostabilite ve

biyoyararlanıma sahiptir ve bu da onları bozunma reaksiyonu sırasında daha iyi fotokatalitik aktivite ve kimyasal reaktiviteye sahip olmasına imkan tanır (Emmanuel *vd.*, 2023).

Bitki çeşidine göre nanopartikül sentezi için kök veya gövde kısmı tercih edilebilir. Nanopartikülün indirgenme sürecinde UV ile muamelesi bu konuda belirleyici görev görmektedir (Hammami ve Alabdallah, 2021; Padilla-Cruz *vd.*, 2021). Aynı zamanda bitki özütlerindeki flavonoidler ve polifenolik bileşikler de önemli indirgeyici ajanlardır (Padilla-Cruz *vd.*, 2021). Yaygın olarak gümüş, altın gibi nanopartikül yeşil sentezine olanak sağlamaktadır. Ayrıca bitki hücre duvarının yaklaşık %35-50'sini oluşturan selüloz önemli bir biyopolimerdir ve nanometre boyutlarındaki selüloz malzemeler, yüksek mukavemet, yüksek yüzey alanı/hacim oranı, yüksek takviye potansiyeline ve fonksiyonelleşebilen yüzey özelliklerine sahiptir. Selüloz nanomalzemeler; nanokristal ve nanofiber olmak üzere iki farklı çeşitte bulunabilmektedir (Low *vd.*, 2022).

Mantarların hücre dışı veya hücre içi matriksleri metal nanopartiküllerin sentezi için uygun kaynaklardır. Mantarlarda sentez hücre içi veya hücre dışında gerçekleşebilir. Hücre dışındaki sentez, matriks veya otolizat ile gerçekleşebilmektedir. Bitki kökleri veya deniz yosunlarından izole edilen mantarlardan antioksidan özellikte nanopartikül sentezi çalışmaları kaydedilmiştir (Pieła *vd.*, 2020; Hammami ve Alabdallah, 2021).

Bakteri ile nanopartikül sentezindeyse genelde denizlerden veya atık sulardan izole edilen bakteriler öne çıkmaktadır. Özellikle *Bacillus*, *Cupriavidus*, *Micrococcus* ve *Shewanella* cinsi bakteriler nanopartikül sentezinde bilinen başlıca çeşitlerdir (Hammami ve Alabdallah, 2021; Shahin *vd.*, 2022; Yan *vd.*, 2023). Hücre dışı ve hücre içi olarak iki farklı yolla sentezlenebilmektedir (Yavuz ve Yılmaz, 2021).

1.3. Tarım Uygulamalarında Nanomalzemeler

Tarımda bitki, toprak ve suyun verim ve sağlığı için birçok nanoteknoloji uygulaması vardır. Bu uygulamalar doğrudan bitki veya mikroorganizmalar üzerine etkili olabilmekte ve/veya doğrudan bu canlılardan elde edilen ürünler ile sağlanabilmektedir.

Kimyasal tarım ilaçlarına alternatif nanopartikül uygulamaları veya nanopartiküllerle kapsüllenmiş hedef odaklı ilaç taşıma sistemleri mevcuttur. Bunun yanı sıra nanogübre, bitki ve toprak mikrobiyomunda etkili nanoteknolojik uygulamalar ile bitki büyüme, gelişme ve verimi artırılabilir. Biyonanoremediasyon ile toprak, bitki ve su kontaminasyonları temizlenebilmektedir (Bansal *vd.*, 2017; Wan, Li ve Parikh, 2020; Singh ve Saxena, 2022; Tamta *vd.*, 2024).

Nanoteknolojik uygulamalarda kimyasal sentez ile elde edilen nanomalzemeler yüksek verimli sonuçlar verse de başlıca etkisinden sonra çevrede ikincil kirletici olarak kalabilmektedir. Aynı zamanda kararlılığı biyonanomalzemelerden daha düşüktür. Bu nedenle son dönemde bitki veya mikroorganizmalardan elde edilen nanomalzemelerin çevre ve tarımda uygulamaları daha çok popülerite kazanmıştır (Alharby ve Ali, 2022; Hussain *vd.*, 2023).

Karbon, metal, bimetal ve kompozit nanomalzemeler başta toprak detoksifikasyonu olmak üzere tarımda önemli nanoteknolojik ajanlardır. Arsenik (As), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), cıva (Hg) gibi ağır metallerle kontamine olmuş toprakların, bu ağır metallerle bağ kurabilen

nanopartiküllerle yapılan uygulamalarıyla toprağın ve suyun remediasyonu sağlanabilmektedir. Özellikle toprak remediasyonunda metalik nanopartiküllerin daha sonra manyetik yetenekleri kullanılarak ortamdaki kolaylıkla ayırılabilmesi; maliyet, uygulanabilirlik ve kolaylık bakımından büyük avantajlar sağlamaktadır (Alharby ve Ali, 2022; Ulhassan *vd.*, 2022; Tamta *vd.*, 2024).

Aynı şekilde bitkilere uygulanması da bitki içerisine birikmiş ağır metallerin ayrılmasına veya toksik etkisi düşük veya olmayan moleküllere dönüşmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede bitki toksik bileşiklerden arındırılmış olmakta ve toksik bileşiklerin zarar verdiği veya durdurduğu metabolik aktivitelerini geri kazanmaktadır (Noman *vd.*, 2020; Ulhassan *vd.*, 2022; Hussain *vd.*, 2023).

Nanopartiküllerin detoksifikasyon yeteneklerinin yanı sıra toprak ve bitki mikrobiyomunu etkileyen nanoteknolojik uygulamaları da mevcuttur. Mikrobiyomları etkileyerek metabolik aktiviteler kazandırabilmekte veya iyileştirebilmektedir. Bitki için patojen mikroorganizmaların elimine olmasını veya bunların elimine olmasını sağlayan mikroorganizmaların aktivitesini arttıran nanoteknolojik uygulamalar mevcuttur. Bu sayede mikroorganizma temelli remediasyon gerçekleştirilmekte, bitki sağlığı, gelişimi ve verimi iyileştirilebilmektedir. (Alharby ve Ali, 2022; Hussain *vd.*, 2023).

Bitkinin gelişim ve verimi gübrelere de desteklenmektedir. Ancak kimyasal gübreler besin kalitesini düşürmekte ve çevreye kirleticilerin yayılmasına sebep olmaktadır. Nanogübreler ile bu olumsuz durum engellenmeye çalışılmaktadır. Nanogübreler üç farklı şekilde bulunmaktadır: besin minerallerinin nanopartikülleri, geleneksel gübrelere katkı olarak eklenmiş nanopartiküller ve gübrelere kapsülasyonunu sağlayan nanopartiküller ve kaplamalar. Üre, bakteri, fungus gibi gübrelere ezilme ve öğütme ile nanometrik boyuta indirilmesi; çinko, selenyum gibi bitkinin ihtiyaç duyduğu minerallerin nanopartiküllerinin hazırlanması ilk grup nanogübreler arasına girmektedir. Bir çeşit kompozit gübre olan nanomalzeme katkılı gübrelere ise genellikle karbon ve silika bazlı nanopartiküllerden yararlanılmaktadır. Katkılı gübrelere nanopartiküller doğrudan bitki için besin değeri taşımamaktadır. Buradaki görevleri bitkinin bulunduğu ortamdaki besin, su, gerekli bileşenleri alma yeteneğini artırmak ve iyileştirmektir. Nanokapsülasyon veya kaplamalar ile elde edilen nanogübreler ise hedef odaklı taşımayı kolaylaştırmaktadır. Uygun bölgelere uygun bileşenlerin iletilmesine olanak vererek gübre sarfiyatını kontrol altına almaya olanak tanır (Nongbet *vd.*, 2022; Tamta *vd.*, 2024).

Çeşitli ilaçlarla bitki verimi ve patojenlerden korunması ile gelişimi desteklenmektedir. Ancak bu ilaçlar genelde kimyasal orijinlidir ve bitkiyi desteklerken çevreye ikincil kirleticilerin salınmasını sağlamaktadır. Tarımda yanlış, yüksek dozaj veya sık kullanım nedenleriyle bitki ve insan sağlığı için olumsuz etkiler de göstermektedir. Bu dezavantajların engellenmesi için nanoteknolojik uygulamalardan yararlanılmaktadır. Biyoyumlu toksik etkisi daha düşük nanopartiküllerden, yeşil sentez biyoyumlu ve toksik olmayan nanopartiküllerden veya pestisit kapsülasyonunu sağlayarak hedefe yönelik ilaçlama imkânı veren nanomalzemelerden yararlanılmaktadır. Bu nanopestisitler kimyasal olarak sentezlenebildiği

gibi başta bakteri ve mantarlar olmak üzere çeşitli canlılardan da sentezlenebilmektedir (Bansal *vd.*, 2017; Kumar *vd.*, 2022; Tamta *vd.*, 2024).

Bu uygulamaların yanı sıra nanosensörlerle de bitkinin bulunduğu ortam izlenebilmektedir. Nanosensörler ile bitkinin bulunduğu abiyotik şartlar, böcek ve bitki zararlılarının tespiti, patojenlerin, kontaminasyon ve kirliliğin takibi yapılabilmektedir. Bu durumlarda hızlı önlem alımları, erken ve etkili müdahaleler ile bitkinin sağlık, gelişim ve verimi korunmaktadır (Giraldo ve Kruss, 2023; Tamta *vd.*, 2024).

2. SONUÇ VE TARTIŞMA

1-100 nm boyutundaki materyallerle gerçekleştirilen nanoteknoloji uygulamaları, yüksek yüzey alanı/hacim oranı ile son dönemin oldukça avantajlı uygulamalarıdır. Farklı boyut, kimyasal yapı ve kaynakları ile çok çeşitli özellik ve uygulamaları mevcuttur. Başta tarım, gıda, tıp, elektrik ve petrol endüstrisi olmak üzere birçok endüstride kendine yer bulabilmiştir.

Nanomateryallerin; metalik, metalik olmayan, kompozit, organik ve inorganik kökenli gibi birçok çeşidi bulunmaktadır. Birçok çeşidinin bulunmasının yanı sıra başlıcaları metal, metal oksit, karbon bazlı ve silika bazlı nanopartiküllerdir.

Nanopartiküller kimyasal etkileşimleri ile sahip oldukları optik, manyetik elektriksel yetenekleri, yüksek mukavemetleriyle beraber hücre içerisine girebilecek boyut ve yetenekte olmaları, biyoaktif iyonları serbest bırakabilmeleri ile de biyoyumlu özelliktedirler ve buldukları ortamla kolayca etkileşime girebilmektedirler.

Biyoyumlu yetenekleri ile beraber özellikle metalik nanopartiküllerin antimikrobiyal yeteneğe sahip olması canlı etkileşiminin olduğu sektörlerde nanopartikülleri önemli ajanlar kılmaktadır. Nanopartiküllerin doğrudan etki aracı olarak kullanılmasının yanı sıra kaplama veya kapsülasyon için de kullanılabilen çeşitleri mevcuttur. Bu çeşitlerinin gözenekli yapısı bu uygulamalar için oldukça elverişlidir ve hedefe yönelik taşımaya da olanak tanımaktadır.

Bu çeşitli nanomalzemeler yukarıdan aşağıya veya aşağıdan yukarıya olmak üzere iki farklı yolla sentezlenirler. Aşağıdan yukarıya sentezde atom seviyesinde elde edilen nanopartiküller daha sonra birleştirilerek veya farklı malzemelere entegre edilerek elde edilirler. Yukarıdan aşağıya sentezde makroskobik boyuttaki materyalin daha küçük boyuta dönüştürülmesiyle gerçekleşir. Her iki yöntemde de geleneksel yaklaşımlar kimyasal ve fiziksel temelli yaklaşımlardır. Bu yaklaşımların dışında son dönemde yeşil sentezle nanopartikül eldesi sağlanabileceği raporlanmıştır. Bitki, mantar, maya, alg veya bakteri kökenli nanopartiküller geleneksel yöntemlerle sentezlenenlere göre daha kararlı yapıdadırlar ancak geleneksel sentezde ürün verimi daha yüksektir. Aynı zamanda geleneksel yöntemle sentezlenen nanopartiküller uygulamaları sonrasında çevreye ikincil kirleticiler salabilmekte ve canlılar için toksik etki oluşturabilmektedir. Ancak yeşil sentezde bu durum çok düşük oranda gerçekleşmekte veya hiç gerçekleşmemektedir.

Birçok çeşidi ve sentezi bulunan nanopartiküller, tarım teknolojileri için de geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bitkinin ve bitkinin bulunduğu ortamın korunması, iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için birçok uygulama mevcuttur.

Bitkinin, toprağın ve suyun kontaminasyonlardan arındırılması için nanopartiküllerin detoksifikasyon yeteneklerinden faydalanılabilmektedir. Bitki gelişim ve veriminin artırılması için nanogübre uygulamaları mevcuttur. Burada doğrudan nanopartiküllerden yararlanıldığı gibi nanokapsülasyonlardan da yararlanılarak hedef odaklı taşıma sağlanmaktadır. Kirlilik dışında patojenlere karşı korunma için de nanopartiküllerin antimikrobiyal yeteneklerinden faydalanılmaktadır veya nanopartikül uygulamalarıyla toprak, bitki mikrobiyomları etkilenecek patojenlerin elimine edilmesi desteklenmektedir. Nanopestisitler ile ilaçlama yapılabilmekte ve/veya nanogübre uygulamalarında olduğu gibi nanokapsülasyonlardan yararlanılarak hedef odaklı ilaç taşınımı sağlanmaktadır. Nanosensörler ile de bitkinin bulunduğu ortam ve şartlar takip edilebilmekte ve bu sayede olumsuz koşullara ve etkilere erkenden doğru müdahale imkânı sağlanmaktadır. Tüm bu uygulamalar sayesinde bitki ve ürün sağlığı ve verimi korunmaktadır.

Nanoteknoloji, kimyasal uygulamalar ile gelenekselleşmiş tarım endüstrisine daha çevreci ve yeşil bir yaklaşım imkânı sunmaktadır. Kendi içerisindeki yeşil sentez yaklaşımlarıyla ve ilerleyen çalışmalarla sahip olduğu eksik yönlerinin ve dezavantajlı özelliklerinin iyileştirilerek ve daha temiz bir tarım olanağı sağlayacağı öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Alharby, H.F. ve Ali, S. (2022) “Combined role of Fe nanoparticles (Fe NPs) and *Staphylococcus aureus* L. in the alleviation of chromium stress in rice plants”, *Life*, 12(3), s. 338.
- Ateş, H. ve Bahçeci, E. (2015) “Nano malzemeler için üretim yöntemleri”, *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 3(2), ss. 483–499.
- Atul, A.K. vd. (2022) “Synthesis and characterization of NiO nanoparticles by chemical coprecipitation method: An easy and cost-effective approach”, *Brazilian Journal of Physics*, 52(1), s. 2.
- Bae, M. vd. (2022) “Novel biopesticides based on nanoencapsulation of azadirachtin with whey protein to control fall armyworm”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(26), ss. 7900–7910.
- Bansal, P. vd. (2017) “Microwave assisted quick synthesis method of silver nanoparticles using citrus hybrid ‘Kinnow’ and its potential against early blight of tomato”, *Research on Crops*, 18(4), ss. 650–655.
- Bokov, D. vd. (2021) “Nanomaterial by sol-gel method: synthesis and application”, *Advances in materials science and engineering*, 2021(1), s. 5102014.
- Çakmak, A. (2024) “Al₂O₃ nanoparçacıklarının ve çeşitli antioksidan katkı maddelerinin dizel motor karakteristiklerine etkilerinin araştırılması.”, *Niğde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences/Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1).
- Chen, Y. vd. (2022) “Histidine as a key modulator of molecular self-assembly: Peptide-based supramolecular materials inspired by biological systems”, *Materials Today*, 60, ss. 106–127.

- Çoşğun, A., Taşcıoğlu, A. ve Yılmaz, G. (2021) “İnce Film Üretiminde Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi ve Çeşitleri”, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(2), ss. 351–363.
- Emmanuel, S.S. vd. (2023) “Greenly biosynthesized bimetallic nanoparticles for ecofriendly degradation of notorious dye pollutants: A review”, *Plant Nano Biology*, 3, s. 100024.
- Faraday, M. (1857) “On the relations of gold and other metals to light”, *Proceedings of the Royal Society of London*, (8), ss. 356–361.
- Giraldo, J.P. ve Kruss, S. (2023) “Nanosensors for monitoring plant health”, *Nature Nanotechnology*, 18(2), ss. 107–108.
- Hammami, I. ve Alabdallah, N.M. (2021) “Gold nanoparticles: Synthesis properties and applications”, *Journal of king Saud university-science*, 33(7), s. 101560.
- Hussain, M. vd. (2023) “Integrating nanotechnology with plant microbiome for next-generation crop health”, *Plant Physiology and Biochemistry*, 196, ss. 703–711.
- Ijaz, I. vd. (2020) “Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles”, *Green chemistry letters and reviews*, 13(3), ss. 223–245.
- Kermanian, M., Naghibi, M. ve Sadighian, S. (2020) “One-pot hydrothermal synthesis of a magnetic hydroxyapatite nanocomposite for MR imaging and pH-Sensitive drug delivery applications”, *Heliyon*, 6(9).
- Kong, J. vd. (2022) “Evaluation of copper (I)-doped zinc oxide composite nanoparticles on both gram-negative and gram-positive bacteria”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 643, s. 128742.
- Kumar, A. ve Gangawane, K.M. (2022) “Synthesis and effect on the surface morphology & magnetic properties of ferrimagnetic nanoparticles by different wet chemical synthesis methods”, *Powder Technology*, 410, s. 117867.
- Kumar, R. vd. (2022) “Advances in biopolymeric nanopesticides: A new eco-friendly/eco-protective perspective in precision agriculture”, *Nanomaterials*, 12(22), s. 3964.
- Liu, L. vd. (2024) “Continuous supercritical hydrothermal synthesis of stabilized ZrO₂ nanocomposites: Doping mechanism of typical metals and transition elements”, *Materials Today Chemistry*, 35, s. 101902.
- Low, Z.L. vd. (2022) “Ultrasonic cavitation: An effective cleaner and greener intensification technology in the extraction and surface modification of nanocellulose”, *Ultrasonics Sonochemistry*, 90, s. 106176.
- Loza, K., Heggen, M. ve Epple, M. (2020) “Synthesis, structure, properties, and applications of bimetallic nanoparticles of noble metals”, *Advanced functional materials*, 30(21), s. 1909260.
- Mahanty, S. vd. (2020) “Synergistic approach towards the sustainable management of heavy metals in wastewater using mycosynthesized iron oxide nanoparticles: biofabrication, adsorptive dynamics and chemometric modeling study”, *Journal of Water Process Engineering*, 37, s. 101426.
- Manickam, S. vd. (2023) “Ultrasonics and sonochemistry: Editors’ perspective”, *Ultrasonics*

Sonochemistry, 99, s. 106540.

Moriwaki, H. ve Yamamoto, H. (2013) “Interactions of microorganisms with rare earth ions and their utilization for separation and environmental technology”, *Applied microbiology and biotechnology*, 97, ss. 1–8.

Niculescu, A.-G., Chircov, C. ve Grumezescu, A.M. (2022) “Magnetite nanoparticles: Synthesis methods—A comparative review”, *Methods*, 199, ss. 16–27.

Noman, M. vd. (2020) “Green copper nanoparticles from a native *Klebsiella pneumoniae* strain alleviated oxidative stress impairment of wheat plants by reducing the chromium bioavailability and increasing the growth”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 192, s. 110303.

Nongbet, A. vd. (2022) “Nanofertilizers: A smart and sustainable attribute to modern agriculture”, *Plants*, 11(19), s. 2587.

Padilla-Cruz, A.L. vd. (2021) “Synthesis and design of Ag–Fe bimetallic nanoparticles as antimicrobial synergistic combination therapies against clinically relevant pathogens”, *Scientific Reports*, 11(1), s. 5351.

Piela, A. vd. (2020) “Biogenic synthesis of silica nanoparticles from corn cobs husks. Dependence of the productivity on the method of raw material processing”, *Bioorganic Chemistry*, 99, s. 103773.

Pochan, D. ve Scherman, O. (2021) “Introduction: Molecular self-assembly”, *Chemical Reviews*. ACS Publications, ss. 13699–13700.

Ranjan, P. vd. (2020) “Dynamical aspects of nanoparticle formation by wire explosion process”, *Nano Express*, 1(1), s. 10049.

Saleh, T.A. (2020) “Nanomaterials: Classification, properties, and environmental toxicities”, *Environmental Technology & Innovation*, 20, s. 101067.

Sebastian, E.M. vd. (2020) “Nanolithography and its current advancements”, *Materials Today: Proceedings*, 26, ss. 2351–2356.

Shafiei, N., Nasrollahzadeh, M. ve Iravani, S. (2021) “Green synthesis of silica and silicon nanoparticles and their biomedical and catalytic applications”, *Comments on Inorganic Chemistry*, 41(6), ss. 317–372.

Shahin, Y.H. vd. (2022) “*Micrococcus lylae* MW407006 pigment: production, optimization, nano-pigment synthesis, and biological activities”, *Biology*, 11(8), s. 1171.

Singh, Y. ve Saxena, M.K. (2022) “Insights into the recent advances in nano-bioremediation of pesticides from the contaminated soil”, *Frontiers in Microbiology*, 13, s. 982611.

Suliz, K. V vd. (2022) “Control of cluster coalescence during formation of bimetallic nanoparticles and nanoalloys obtained via electric explosion of two wires”, *Advanced Powder Technology*, 33(3), s. 103518.

Tamta, S. vd. (2024) “Recent development of nanobiomaterials in sustainable agriculture and agrowaste management”, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, s. 103050.

Ulhasan, Z. vd. (2022) “Efficacy of metallic nanoparticles in attenuating the accumulation and toxicity of chromium in plants: current knowledge and future perspectives”,

Environmental Pollution, 315, s. 120390.

Wan, X., Li, C. ve Parikh, S.J. (2020) “Simultaneous removal of arsenic, cadmium, and lead from soil by iron-modified magnetic biochar”, *Environmental Pollution*, 261, s. 114157.

Wang, S. vd. (2023) “Surface functionalization of metal and metal oxide nanoparticles for dispersion and tribological applications-a review”, *Journal of Molecular Liquids*, s. 122821.

Xu, Q. vd. (2022) “Green reduction of graphene oxide using *Bacillus sphaericus*”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 605, ss. 881–887.

Yan, Q. vd. (2023) “Recovery and removal of rare earth elements from mine wastewater using synthesized bio-nanoparticles derived from *Bacillus cereus*”, *Chemical Engineering Journal*, 459, s. 141585.

Yavuz, İ. ve Yılmaz, E.Ş. (2021) “Biyolojik Sistemli Nanopartiküller”, *Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi*, 2(1), ss. 93–108.

Zamani, H. vd. (2020) “Biosynthesis of silica nanoparticle using *Saccharomyces cerevisiae* and its application on enhanced oil recovery”, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 190, s. 107002.

***Juglans regia* L. TÜRÜNÜN GELENEKSEL VE FARMAKOLOJİK BAZI KULLANIMLARI**

Dr. Öğr. Üyesi Hülya ÖZPINAR

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

hulya1177@yahoo.com.tr- ORCID ID: 0000-0001-8154-0874

Doç. Dr. Necati ÖZPINAR

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi

necati.ozpinar@mku.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-7317-885X

ÖZET

Juglandaceae familyasına üye türlerden biri olan *Juglans regia* L.(ceviz) ticari olarak öneme sahip türlerden birisi olduğu için dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Bu çalışmada türün Türkiye’ de ve dünyanın farklı ülkelerinde olan geleneksel kullanımları ve farmakolojik etkileri hakkında bilgiler derlenmiştir. Türkiye’ de yapılan etnobotanik çalışmalar sonucu cevizin farklı kısımlarının halk arasında haricen deri hastalıklarında antiseptik olarak, kanamaları durdurmak ve yaraları iyileştirmek amacıyla, dâhilen dekoksasyon halinde hipoglisemik etkisi nedeni ile ve romatizma ağrılarının hafifletilmesi amacıyla ve bazı illerde yapraklarının antihelmintik etkisi nedeniyle kullanıldığı tespit edilmiştir. Geleneksel olarak dünyanın farklı ülkelerinde *Juglans regia* L. türünün farklı kısımlarının, farklı deri rahatsızlıkları, mide rahatsızlıkları, astım, diyabet, prostat rahatsızlıkları, antihelmintik, antiseptik, antibakteriyel, astrenjan olarak ve aynı zamanda diş ağrısı ve diş temizliğinde kullanıldığı kayıt altına alınmıştır. Farmakolojik olarak da bir çok kullanıma sahip olan bu türün; özellikle bu derlemede öğrenme ve bellek üzerine olan etkileri, antidepresan, antidiyabetik, immünoestimulan etkisi, antioksidan, antikanser, antimikrobiyal, antiviral, antihelmintik aktiviteleri üzerine olan çalışmalar incelenmiştir. Kimyasal içeriği hakkında da bilgi verdiğimiz, bir çok kozmetik preparatın içeriğinde de yer alan, Ayurvedik tıpta ve bazı geleneksel ve tamamlayıcı tedavi yöntemlerinde de yağı da kullanılan bu tür hakkında yaptığımız derlemenin gelecekte yapılacak çalışmalar için bir basamak olabileceğini düşünmekteyiz.

Anahtar Kelimeler : *Juglans regia*, geleneksel kullanım, farmakolojik kullanım

SOME TRADITIONAL AND PHARMACOLOGICAL USES OF *Juglans regia* L.

Assist. Prof. Dr. Hülya ÖZPINAR

Sivas Cumhuriyet University

hulya1177@yahoo.com.tr - ORCID ID: 0000-0001-8154-0874

Assoc. Professor Dr. Necati ÖZPINAR

Hatay Mustafa Kemal University

necati.ozpinar@mku.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-7317-885X

ABSTRACT

Juglans regia L. (walnut), a species belonging to the Juglandaceae family, is one of the commercially significant species and is widely cultivated around the world. This study compiles information on the traditional uses and pharmacological effects of the species in Turkey and various countries. Ethnobotanical studies conducted in Turkey have revealed that different parts of walnut are used externally for skin diseases as an antiseptic, to stop bleeding and heal wounds, and internally in decoction form for its hypoglycemic effects and for alleviating rheumatic pain. In some provinces, the leaves are used for their antihelmintic effects. Traditionally, in various countries around the world, different parts of *Juglans regia* L. have been recorded as being used for various skin disorders, gastrointestinal issues, asthma, diabetes, prostate disorders, as an antihelmintic, antiseptic, antibacterial, and astringent, as well as for toothaches and dental cleaning. Pharmacologically, this species has a wide range of uses, and in this review, studies on its effects on learning and memory, antidepressant, antidiabetic, immunostimulant, antioxidant, anticancer, antimicrobial, antiviral, and antihelmintic activities are examined. This species, which is also included in the content of many cosmetic preparations and is used in Ayurvedic medicine as well as some traditional and complementary treatment methods, is discussed in terms of its chemical composition. We believe that this review could serve as a stepping stone for future research on *Juglans regia* L.

Keywords: *Juglans regia*, traditional use, pharmacological use

1. INTRODUCTION

Juglans regia L. (walnut), a member of the Juglandaceae family, is one of the commercially important species and is widely cultivated worldwide. This species, which can reach up to 30 meters in height, has a trunk with a diameter of 1.5 to 2.5 meters. It forms a crown by branching extensively. The bark is gray in various shades and develops deep cracks as it ages. The leaves are 22-35 cm long and imparipinnate. They consist of 5-9 leaflets. The leaflets are 10-15 cm long, ovate-elliptic, with entire margins, and have a glossy green color. They are hairless, with only tufts of hairs at the junctions of veins on the underside of the leaflets. Male flowers are numerous and pendulous, forming amenta on the previous year's branches. The stamens are free and 3-4 in number, with short filaments. Female flowers are found on the young branches of the current year in clusters of 2-3. The ovary is bi-carpellate, with a short style and a wide, two-lobed stigma. The fruit is a drupe, 4-5 cm in diameter, spherical in shape. The pericarp is green, with the exocarp and mesocarp darkening over time. The woody endocarp, with its irregular surface, separates from the pericarp as it dries (Davis, 1982; Tanker et al., 1993).

J. regia L. has become an important species in Ayurveda and homeopathy due to its various chemical components. It contains biologically active compounds such as polyphenols, flavonoids, steroids, phospholipids, triterpenes, quinones, fatty acids, gallic acid, and ellagic acid. Ellagic acid is known for its anticancer properties and its ability to strengthen the immune system. The active component of the species is also identified as juglone. The bark of *J. regia* L. contains a high amount of polyphenolic compounds, which are responsible for its antioxidant and antibacterial activities. The leaves of *J. regia* L. are rich in alkaloids, saponins, and flavonoids, showing antidiabetic effects (Verma and Sharma, 2020). It has been determined that walnuts contain essential nutrients such as protein (13.6-22.3%), fat (56.4-70.6%), and ash (2%) (Şahin and Akbaş, 2001). The oil of walnuts contains 72% polyunsaturated fatty acids (59% linoleic, 13% α -linolenic), 18% monounsaturated fatty acid (oleic acid), and 10% saturated fatty acids (Lavedrine et al, 1999). Omega-3 (9.081g/100g) and Omega-6 (38.095g/100g) are important polyunsaturated fatty acids found in walnuts. Compared to other nuts, walnuts have the highest amount of Omega-3 fatty acids. Walnuts are also rich in essential amino acids, particularly L-arginine (Yiğit et al., 2005). Additionally, due to its fiber content, it is beneficial for the human digestive system (Serrano et al., 2005). The composition of walnut kernels includes fat-soluble vitamins A and E, water-soluble vitamins C, B1, B2, folic acid, pantothenic

acid, and niacin, and minerals such as iron, zinc, copper, magnesium, phosphorus, manganese, and copper (Yiğit et al., 2005).

The functional importance of walnuts is derived from antioxidants such as vitamin E, phytosterols, and polyphenols. It is reported to contain a high amount of δ -tocopherol (24-46 mg/100g). Polyphenols are primarily found in the thin brown shell that surrounds the fruit. Ellagic acid monomers, polymeric ellagitannins, and other phenolic compounds, such as flavonoids, have been identified in walnut fruits (Anderson et al., 2001). This study aims to compile information on the traditional uses and pharmacological effects of this species in Turkey and different countries around the world.

2. TRADITIONAL USES OF *Juglans regia* L.

The traditional uses of walnuts are similar in many countries. Traditionally, *Juglans regia* L. has been used for treating skin inflammations, excessive sweating, lymphatic diseases (scrofula), and eczema. It has also been found beneficial for dandruff, itching, superficial wounds, and sunburns on the scalp. Fresh walnut leaves have been applied to the body to reduce fever or relieve rheumatic pain. The seeds of *J. regia* have been used to treat inflammatory bowel diseases. Additionally, in Palestine, walnut is used in the treatment of diabetes, asthma, vascular diseases, and prostate disorders, while in India, walnut shells and roots are used for cleaning teeth and treating toothaches. The fruit's shell has also been documented as being used for the treatment of alopecia. In folk medicine, walnut leaves are used against mosquitoes and lice, while the walnut oil obtained is used to strengthen memory and improve vision (Bhardwaj et al., 2023).

In Turkey, walnuts are used in folk medicine externally as an antiseptic for skin diseases, to stop bleeding, and to heal wounds. Internally, decoctions are used for their hypoglycemic effects and to relieve rheumatic pain. Further information regarding the method and purpose of use can be found in Table 1.

Table 1. Traditional Uses of *Juglans regia* L. in Turkey (Tuzlaci, 2006; Tuzlaci, 2016)

Used Part	Location	Method of Use	Purpose of Use
Leaves	Elazığ, Izmir	Decoction	Used as an antihelminthic when consumed on an empty stomach in the mornings.
Leaves	Muğla	Decoction	Used for relieving stomach pain.

Leaves	Muğla	Crushed and applied to the painful area	Used for rheumatism treatment. Application should not be prolonged.
Leaves	Istanbul	Applied fresh to the leg	Used to relieve rheumatic pains.
Leaves	Istanbul	Boiled and wrapped in a cloth	Used for bee stings and to relieve rheumatic pains.
Leaves	Bilecik, Izmir, Nevşehir, Sakarya	Decoction	Used for diarrhea.
Leaves	Bilecik	Decoction	Used as an appetite stimulant.
Leaves	Aydın	Crushed and applied externally	Used for treating cracks on the hands.
Leaves	Trabzon	Decoction (after 3 days of rest)	Used for treating boils.
Leaves	Trabzon	Crushed to extract juice, applied externally	Used for treating cuts and wounds.
Leaves	Kırklareli	Sitting over the steam of decoction	Used for relieving menstrual cramps in women.
Leaves	Kırklareli	Placed inside shoes	Used to prevent foot sweating.
Leaves	Mersin	Decoction, soaked in cloth and placed over eyes	Used for relieving eye pain.
Leaves	Mersin	Infusion (1 teaspoon of leaf powder in 1 cup of water, consumed on an empty stomach, 2 cups per day)	Used to treat inflamed tonsils.
Unripe fruits	Balıkesir	Soaked in sugar and vodka for a while	Used for diarrhea.
Unripe fruits	Isparta, Istanbul	One fruit consumed per day	Used for treating goiter.
Fruits	Sakarya	Decoction (one cup per day)	Used for diarrhea.
Young fruits (referred to as walnut's "bulb" in folk terminology)	Antalya	Consumed in pill form	Used for shortness of breath.
Green fleshy skin of the fruits	Niğde	Decoction	Facilitates digestion.
Leaves and fruit shells	Trabzon	Decoction, externally	Used for hair thickening and dandruff treatment.
Seeds	Aydın	Crushed and mixed with honey	Used as a bowel softener for children and for treating bronchitis.
Seeds	Trabzon	Decoction	Used for treating goiter.
Seeds	Kırklareli	Consumed 3 seeds per day for 2-3 days	Used as a blood pressure regulator.

Roots	Elazığ	Soaked in olive oil from spring to autumn, externally	Used for relieving rheumatism and muscle pains.
Bark of branches	Trabzon	Peels, remaining part used in decoction (in the morning)	Used for treating boils.
Branches and leaves	Isparta	Infusion prepared with leaves of <i>Quercus coccifera</i> , leaves and fruits of <i>Rubus sanctus</i> , and rhizomes of <i>Sorghum halepense</i>	Used in cancer treatment.
Bark of trunk	Trabzon	Decoction	Used for diarrhea.
Bark of trunk	Aydın	Decoction	Used as a blood sugar reducer.
Bark of trunk	Aydın	Sitting over the steam of decoction	Used for treating menstrual pain in women.
Trunk and branch bark	Çanakkale	Decoction	Used for relieving stomach pain.
Young shoots	Balıkesir	Decoction prepared and soaked in cloth, applied to the painful area	Used for relieving rheumatic pains.

3. PHARMACOLOGICAL USES OF *Juglans regia* L.

3.1. Anthelmintic Activity

The ethyl acetate, acetone, ethanol, methanol, and aqueous extracts of the stem bark of *J. regia* L. were tested for their anthelmintic activity against *Eicinia foetida*. It was observed that the acetone and methanol extracts caused significant paralysis and death of the worms in a dose-dependent manner when compared to the standard Albendazole, while the ethanol extract showed weak activity (Kale et al., 2011).

In another study testing the antihelmintic activity of the stem bark extracts (petroleum ether, benzene, chloroform, acetone, methanol, ethanol, and water) on the Indian earthworm *Pheretima posthuma*, it was found that the benzene, methanol, and ethanol extracts exhibited significant anthelmintic activity when compared to the control group treated with Piperazine citrate (Upadhyay et al., 2010).

A study testing the petroleum ether, methanol, and water extracts of *J. regia* leaves on *Pheretima posthuma* in vitro showed that the water extract of the leaves exhibited more significant activity than the petroleum ether extract (Das et al., 2011). The traditional use of the leaves for this purpose is also documented.

3.2. Antidepressant Activity

In a study investigating the effects of *J. regia* fruit on depression in rats, the results of the forced swimming and tail suspension tests revealed that the hexane extract of the fruit at doses of 100 mg/kg or 150 mg/kg demonstrated antidepressant activity. In another study, antidepressant effect tests were conducted in mice using petroleum ether, ethanol, chloroform, and water extracts of almonds and walnuts. The elevated plus maze (EPM) and forced swimming test (FST) were applied, and it was found that the ethanol extract of *J. regia* at doses of 200 mg/kg and 400 mg/kg exhibited significant antidepressant activity (Verma and Sharma, 2020).

3.3. Antidiabetic Activity

In an in vitro study, the inhibition effects of various extracts of *J. regia* leaves on the enzymes α -amylase and α -glucosidase were tested. It was found that the extract obtained by microwave-assisted extraction inhibited α -amylase the most, while the Soxhlet extraction method was more effective against α -glucosidase (Bourais et al., 2023). In a study on gestational diabetes, treatment of pregnant rats with *J. regia* walnut oil, which contains unsaturated fatty acids (oleic acid 15.36%, linolenic acid 12.81%, linoleic acid 62.47%), was shown to normalize glucose, insulin, and lipid metabolism, improve fetal body and placenta weight, and reduce embryo mortality (Sun et al., 2020).

3.4. Antimicrobial and Antiviral Effects

In a study investigating the antiviral activities of different extracts of *J. regia* leaves, it was found that antiviral compounds were present in the ethanol and ethyl acetate extracts. These compounds were able to prevent the Tobacco Mosaic Virus (TMV) from infecting *Nicotiana glutinosa* species (Mei-zhi, 2007). In addition, in silico analyses examined the antiviral properties of juglone, revealing that juglone could be a strong candidate as an antiviral drug due to its protein-ligand binding affinity (Vardhini, 2014).

Numerous studies have investigated the antimicrobial effects of *J. regia*. A study using the disc diffusion method found that *J. regia* leaf extracts exhibited antibacterial activity against *Propionibacterium acnes* and other microorganisms involved in acne formation. These extracts were suggested to be effective for acne treatment (Qa'dan, 2005).

3.5. Antioxidant and Anticancer Effects

Various studies have tested the methanolic and petroleum ether extracts of different parts of *J. regia* such as its leaves, seeds, and bark. It was found that methanol and petroleum

ether extracts possess the ability to scavenge DPPH free radicals and prevent oxidative hemolysis induced by AAPH. Additionally, a study analyzing the antioxidant activity of various parts of the walnut tree demonstrated that the phenolic extracts from the fruit exhibited the highest antioxidant activity compared to all other extracts (Arya et al., 2020).

In a study conducted in 2016, the anticancer and antioxidant activities of walnut protein hydrolysates were investigated. It was found that walnut peptide fractions inhibited cell growth in breast and colon cancer cells, suggesting a direct relationship between their antioxidant and anticancer activities (Jahanbani et al., 2016). In a different study conducted in 2012, the antiproliferative activity of leaf extracts and different fractions of *J. regia* was tested on various cancer cell lines. The methanol fraction was found to have the highest content of total phenolics, flavonoids, and concentrated tannins, indicating that these walnut fractions might contain effective compounds that could be used as therapeutic agents (Salimi et al., 2012).

3.6. Effects on Learning and Memory

In a study conducted in 2009, the effects of walnuts on motor and cognitive functions in elderly rats were evaluated in a dose-dependent manner. It was suggested that walnuts have the ability to reverse age-related motor and cognitive dysfunctions (Willis, 2009). Another study conducted in 2011 indicated that walnuts improved memory and learning functions by increasing serotonin levels in the brain, potentially contributing to progress in these functions and possibly helping to reduce obesity. Additionally, a study involving pregnant and lactating rats assessed the impact of walnut consumption on the learning and memory of their offspring, revealing a significant improvement in the learning and memory abilities of the pups (Arya et al., 2020).

3.7. Immunostimulatory Effects

It has been reported that treatment with different parts of *Juglans regia* can reduce the effects of oxidative stress, leading to improvements in the oxidative stress profile. These improvements were characterized by the normalization of lymphocyte, red and white blood cell, and platelet levels. The immunostimulants found in high amounts in walnut septum extract, particularly quercetin (quercetin-3-O-rhamnoside), isoquercetin (quercetin-3-D-glucoside), hyperoside (quercetin-3-D-galactoside), and two phytosterols (β -sitosterol and campesterol), were identified as key components responsible for these effects (Bourais et al., 2023).

4. CONCLUSIONS

Juglans regia, a species that has been used for thousands of years and holds economic value, has been studied in this work, and information has been compiled regarding its traditional uses and pharmacological effects in Turkey and various countries around the world. Numerous studies have been conducted on the effects of different parts of the species, covering both traditional and pharmacological uses. Moreover, the oil of this species is used in Ayurvedic medicine and some traditional and complementary treatment methods. We believe that this review could serve as a stepping stone for future studies on the subject.

REFERENCES

- Arya, A. K., Arora, M., & Singh, M. F., A review on pharmacological activity of *Juglans regia*, *International Journal of Pharmacognosy and Chemistry*, 7, 1-11, 2020.
- Anderson, K.J., Teuber, S.S., Gobeille, A., Cremin, P., Waterhouse, A.L., and Steinberg, F.M., Walnut polyphenols inhibit in vitro human plasma and LDL oxidation. *The Journal of Nutrition*, 131(11), 2837-2842, 2001.
- Bhardwaj, A., Singh, A., Patnaik, R. S., & Bhardwaj, S., *Juglans regia* L: A review of its traditional uses, phytochemistry, and therapeutic applications. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 14(1), 11-16, 2023.
- Bourais, I., Elmarrkechy, S., Taha, D., Mourabit, Y., Bouyahya, A., El Yadini, M., ... & Iba, N., A review on medicinal uses, nutritional value, and antimicrobial, antioxidant, anti-inflammatory, antidiabetic, and anticancer potential related to bioactive compounds of *J. regia*, *Food Reviews International*, 39(9), 6199-6249, 2023.
- Das, R., Mehta, D. K., & Gupta, A., In vitro anthelmintic activity of leaves of *Juglans regia* L against *Pheretima posthuma*, *Scientific Reviews and Chemical Communications*, 1(1), 78-82, 2011.
- Davis, P. H., *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Vol. 3. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Vol. 3, 1970.
- Jahanbani, R., Ghaffari, S. M., Salami, M., Vahdati, K., Sepehri, H., Sarvestani, N. N., Sheibani, N., Moosavi-Movahedi, A. A. Antioxidant and Anticancer Activities of Walnut (*Juglans regia* L.) Protein Hydrolysates Using Different Proteases. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(4):402-409, 2016.
- Kale, A. A., Gaikwad, S. A., & Kamble, G., In vitro anthelmintic activity of stem bark of *Juglans regia* L., *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 3(2), 298-302, 2011.

- Lavedrine, F., Zmirou, D., Ravel, A., Balducci, F., and Alary, J., Blood cholesterol and walnut consumption: a cross-sectional survey in France, *Preventive Medicine*, 28(4), 333-339, 1999.
- Mei-zhi, Z., Study on extraction conditions of active antiviral substance from walnut leaves. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2., 2007.
- Mollica, A., Zengin, G., Locatelli, M., Stefanucci, A., Macedonio, G., Bellagamba, G., ... & Novellino, E., An assessment of the nutraceutical potential of *Juglans regia* L. leaf powder in diabetic rats, *Food and Chemical Toxicology*, 107, 554-564, 2017.
- Qa'dan, F., The antimicrobial activities of *Psidium guajava* and *Juglans regia* leaf extracts to acne-developing organisms. *The American Journal of Chinese Medicine*, 33(02): 197-04, 2005.
- Salimi, M., Majd, A., Sepahdar, Z., Azadmanesh, K., Irian, S., Ardestaniyan, M. H., Hedayati, M. H., Rastkari, N., Cytotoxicity effects of various *Juglans regia* (walnut) leaf extracts in human cancer cell lines. *Pharmaceutical Biology*, 50, 11, 1416-22, 2012.
- Serrano, A., Cofrades, S., Ruiz-Capillas, C., Olmedilla-Alonso, B., Herrero-Barbudo, C., and Jiménez-Colmenero, F., Nutritional profile of restructured beef steak with added walnuts, *Meat Science*, 70(4), 647-654, 2005.
- Sun, B., Yan, H., Li, C., Yin, L., Li, F., Zhou, L., & Han, X., Beneficial effects of walnut (*Juglans regia* L.) oil-derived polyunsaturated fatty acid prevents hyperlipidemia and oxidant status in pregnant rats with diabetes, 1-20, 2020.
- Şahin, İ., Akbaş, H., Research on the Technological Properties of Walnuts from Different Regions and Varieties. *Turkey 1st National Walnut Symposium*, Tokat, 104-114, 2001.
- Tanker, N., Koyuncu, M., and Coşkun, M., *Pharmaceutical Botany Textbook*, Ankara University Faculty of Pharmacy Publications, Publication (70), 449, 1993.
- Tuzlacı, E., *In the Name of Healing: Herbal Folk Remedies of Turkey*, Alfa Publishing, 2006.
- Tuzlacı, E., *Traditional Medicine Guide of Turkish Plants: Traditional Treatments with Plants in Turkey*, İstanbul Medical Health and Publishing, 2016.
- Upadhyay, V., Kambhoja, S., Harshaleena, K., & Dhruva, K., Anthelmintic Activity of the Stem Bark of *Juglans regia* Linn., *Research Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2(6), 467-470, 2010.
- Vardhini, S. R., Exploring the antiviral activity of juglone by computational method. *Journal of Receptors and Signal Transduction*, 34(6): 456-57, 2014.
- Verma, G., & Sharma, V., A Scientific Update on *Juglans Regia* Linn., *Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development*, 8(3), 166-175, 2020.

Willis, L. M., Shukitt-Hale, B., and Joseph, J. A., Recent advances in berry supplementation and age-related cognitive decline, *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 12(1), 91-94, 2009.

Yiğit, A., Ertürk, Ü., and Korukluoğlu, M., *A Functional Food: Walnut, Bahçe*, 34(1), 163-170, 2005.

***Cucurbita pepo* L. ve *Persea gratissima* Gaertner TÜRLERİNİN KİLO KONTROLÜNDE VE GELENEKSEL OLARAK KULLANIMINA GENEL BİR BAKIŞ**

Dr. Öğr. Üyesi Hülya ÖZPINAR

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

hulya1177@yahoo.com.tr- ORCID ID: 0000-0001-8154-0874

Doç. Dr. Necati ÖZPINAR

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi

necati.ozpinar@mku.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-7317-885X

ÖZET

Son yıllarda toplumda artan obezite oranından dolayı; insanlar birçok bitki türünü kilo kontrolü amacıyla tercih etmektedir. Bilinçli veya bilinçsiz şekilde tüketilen türler, aslında bilinçsiz tüketildiği takdirde insan sağlığı için önemli bir tehlike grubunu oluşturmaktadır. Çalışmamızda kilo kontrolü amacıyla tercih edilen türlerden ikisi olan *Cucurbita pepo* L. ve *Persea gratissima* Gaertner türlerinin botanik özellikleri, kimyasal bileşenleri ve geleneksel kullanımları hakkında yapılan çalışmalar derlenmiştir. *Cucurbita pepo* L. Cucurbitaceae familyasına üye bir tür olup; polisakkaritler, sabit yağlar, steroller, proteinler ve peptitler gibi çeşitli biyolojik olarak aktif bileşenler bakımından zengin, meyvenin düşük yağ içeriğinden dolayı diyet listelerinin en çok tercih edilen gıda maddelerinden birini oluşturmaktadır. Türkiye’ nin değişik bölgelerinde tohumları dâhilen prostat rahatsızlıklarında, haricen ise lapası boğaza uygulanarak ağrılı öksürük ve bronşit tedavisinde kullanılmaktadır. Tohumları aç karnına yenilerek veya dekoksasyon halinde antihelmintik amaçla kullanıldığı da etnobotanik çalışmalarda kayıt altına alınmıştır. Yine farklı ülkelerde, antienflamatuar olarak çeşitli hastalıkların tedavisinde, antiviral, analjezik, antiülser, antidiyabetik ve antioksidan olarak kullanımları mevcuttur. *Persea gratissima* Gaertner türü ise Lauraceae familyasına üye, kimyasal içeriği varyetelerinin farklılığı, olgunlaşma miktarı ve kültür koşuluna bağlı olarak değişebilen bir türdür. Türün farklı kısımlarında tanımlanan ana fenolik bileşikler; klorojenik asit ve bazı flavonoidlerin türevleridir. Yüksek yağ ve lif bileşimi içeren türün, tokluğu koruyup, barsak florasını etkileyerek kilo kaybına fayda sağladığı birçok kaynakta ifade edilmektedir. Ayrıca türün, besin olarak kullanımının yanı sıra kanser ve kardiyovasküler hastalıklar başta olmak üzere bazı hastalıkların geleneksel tedavi yöntemlerinde de kullanıldığı bilgileri mevcuttur.

Anahtar Kelimeler : *Cucurbita pepo*, *Persea gratissima*, geleneksel kullanım, kilo kontrolü

AN OVERVIEW OF THE USE OF *Cucurbita pepo* L. and *Persea gratissima* Gaertner SPECIES IN WEIGHT CONTROL AND TRADITIONAL USES

Assist. Prof. Dr. Hülya ÖZPINAR

Sivas Cumhuriyet University

hulya1177@yahoo.com.tr - ORCID ID: 0000-0001-8154-0874

Assoc. Professor Dr. Necati ÖZPINAR

Hatay Mustafa Kemal University

necati.ozpinar@mku.edu.tr- ORCID ID: 0000-0002-7317-885X

ABSTRACT

In recent years, due to the increasing rates of obesity in society, people have started to prefer many plant species for weight control. However, species consumed consciously or unconsciously can pose significant health risks when used improperly. This study compiles the botanical characteristics, chemical components, and traditional uses of two species preferred for weight control: *Cucurbita pepo* L. and *Persea gratissima* Gaertner. *Cucurbita pepo* L. a member of the Cucurbitaceae family, is rich in various biologically active compounds such as polysaccharides, fixed oils, sterols, proteins, and peptides. Due to its low-fat content, its fruit is one of the most preferred dietary foods. In different regions of Turkey, its seeds are consumed internally for prostate disorders and externally as a poultice applied to the throat for the treatment of painful cough and bronchitis. Ethnobotanical studies have also documented its use as an antihelmintic by eating the seeds on an empty stomach or using them as a decoction. Additionally, in different countries, it has been utilized as an anti-inflammatory in the treatment of various diseases and for its antiviral, analgesic, antiulcer, antidiabetic, and antioxidant properties. *Persea gratissima* Gaertner, a member of the Lauraceae family, is a species whose chemical composition varies depending on its variety, ripening degree, and cultivation conditions. The primary phenolic compounds identified in various parts of the species are chlorogenic acid and derivatives of certain flavonoids. The species, which contains a high composition of fat and fiber, is stated in many sources to contribute to weight loss by maintaining satiety and influencing gut flora. Additionally, it is reported that the species is not only used as food but also in traditional treatment methods for certain diseases, particularly cancer and cardiovascular diseases.

Keywords: *Cucurbita pepo*, *Persea gratissima*, traditional use, weight control

1. INTRODUCTION

In recent years, the rapidly increasing obesity problem in global societies is fundamentally rooted in the imbalance between energy intake and expenditure. This issue, which constitutes a significant risk factor for various diseases such as diabetes, cardiovascular diseases, and metabolic syndrome, has led people to explore different methods to combat it (Wang et al., 2022). Many individuals prefer various plant species for weight management. However, species consumed consciously or unconsciously can pose a significant health risk if consumed without proper knowledge.

The literature presents several theories regarding the effects of plants used for weight loss. Among these, the most widely accepted theory suggests that the primary reasons plants are preferred in diets are their low-calorie density and low-fat content (Ivanova et al., 2021). Additionally, some experimental evidence indicates that changes in body weight, body composition, and insulin sensitivity in overweight adults following a low-fat vegan diet are associated with alterations in gut microbiota composition (Kahleova et al., 2020).

This study aims to compile research on the botanical characteristics, chemical components, and traditional uses of two species commonly preferred for weight management: *Cucurbita pepo* L. and *Persea gratissima* Gaertner.

2. The Use of *Cucurbita pepo* L. and *Persea gratissima* Gaertner Species in Weight Control

2.1. Botanical Characteristics, Chemical Composition, and Use of *Cucurbita pepo* L. in Weight Control

Cucurbita pepo L., a member of the Cucurbitaceae family, is a creeping-climbing plant that can grow up to 15 meters in length. Its root system is shallow and branched, growing from a well-developed taproot (Ratnam et al., 2017). The branches can extend from 6 to 24 cm, while the leaves are simple, alternate, with a length of 20-30 cm and width of 10-35 cm. They are covered in stiff hairs, have petioles, and are 5-7 lobed with a cordate base. The petiole length is between 6 and 9 cm. The flowers are solitary, yellow, and actinomorphic in symmetry. The male flowers are long and pedicellate. They have a calyx that is 5-10 mm long and almost 5-15 mm wide, with linear sepals that widen towards the base, and a corolla that is 6 to 12 cm long and ranges in color from yellow to pale orange, forming a campanulate shape. The flower has three stamens. The female flowers are larger, having thick pedicels 3-5 cm long, an oval to elliptical, multi-chambered ovary, and a corolla that is slightly larger than the male flowers. They also have a thickened style and three-lobed stigmas. The fruit comes in various sizes and shapes,

including oval, cylindrical, flattened, spherical, fusiform, and/or narrowed at one or both ends with a curved or straight neck. The seeds are numerous, white, oval, about 2 cm long, and blunt at the tip (Ratnam et al., 2017).

The pumpkin contains various biologically active components such as polysaccharides, fixed oils, sterols, proteins, and peptides (Caili et al., 2006). The fruit has a low fat content (2.3%) and pumpkin pulp is not a rich source of fat, but it contains carbohydrates (66%), protein (3%), and a high amount of carotenoids (9-171.9 $\mu\text{g/g}$) (Elinge et al., 2012). Lutein is the most abundant carotenoid. The pumpkin pulp also contains alpha and gamma-tocopherol. However, beta- or delta-tocopherol has not been found (Kulczyński and Gramza-Michałowska, 2019). One hundred grams of pumpkin provides 80 kcal and contains 11.46% fiber. The pulp is high in Mn (0.5 mg/kg), Fe (1.37 mg/kg), Cu (mg/kg), Pb (0.29 g/kg), P (11.38 mg/kg), Ni (0.5 mg/kg), Ca (179 mg/kg), Mg (190 mg/kg), Na (159 mg/kg), and K (160 mg/kg), indicating a rich mineral content. The levels of lead (Pb) and copper (Cu) are within acceptable ranges. The seeds and seed oil are a rich natural source of phytosterols, proteins, polyunsaturated fatty acids, antioxidant vitamins, carotenoids, tocopherols, and various elements. Additionally, the seeds contain squalene, a precursor compound involved in the biosynthesis of steroid hormones, cholesterol, and vitamin D in the human body. This compound has also been shown to have positive effects in the treatment of certain types of cancer (Ratnam et al., 2017). Studies have shown that the plant's leaves contain alkaloids, flavonoids, phytosterols, tannins, saponins, steroids, resins, mucilage, fixed oils and fats, proteins, and amino acids (Kalaiselvi et al., 2016).

All anatomical parts of the plant are edible, but the seeds and pulp are of particular importance in terms of food processing and nutrition. In the food industry, pumpkin pulp is primarily used in the production of purees, meals, and fruit juices, particularly for children and infants (Kulczyński and Gramza-Michałowska, 2019). Oxidative stress is considered one of the factors contributing to obesity. Various experimental studies have demonstrated that pumpkin exhibits antioxidant activity. Tocopherols (non-glucosidic) are plant oil compounds and natural antioxidants. Pumpkin seed oil contains a mixture of β and δ -tocopherol isomers, which together make up 79% and 84% of the total tocopherol content, respectively (Ratnam et al., 2017).

2.2. Botanical Characteristics, Chemical Composition, and Use of *Persea gratissima* Gaertner in Weight Control

Persea gratissima Gaertner, a member of the Lauraceae family, is a woody tree that can reach a height of approximately 9-20 meters and a trunk diameter ranging from 80 cm to 1 meter (Tavlı and Özkan, 2020; Majid et al., 2020). Although the avocado is known to be an evergreen species, some varieties show leaf shedding before flowering. The leaves can grow to 7-41 cm in length and may vary in shape. While young leaves are hairy and reddish, they become smooth and dark green as they mature. The flowers are yellow-green in color and have a diameter ranging from 1 to 1.3 cm. The flowers are arranged in inflorescences, which contain numerous flowers and are located in a pseudo-terminal position. The central axis of the inflorescence ends with a shoot. The fruit contains a large seed and is surrounded by a fatty fleshy part (Yasir et al., 2010).

The chemical content of the plant varies depending on its variety, degree of ripeness, and cultural conditions (Tavlı and Özkan, 2020). It has been found that the nutritional composition of avocado pulp contains 67-78% moisture, 12-24% lipids, 0.8-4.8% carbohydrates, and 1.0-3.0% protein (Araújo et al., 2018). Known as the "butter fruit," avocado is preferred as an energy source due to its high lipid content. It is rich in monounsaturated fatty acids (about 60%), including oleic, linoleic, and linolenic acids, as well as polyunsaturated and saturated fatty acids (Tavlı and Özkan, 2020). Oleic acid, a monounsaturated fatty acid, is considered the characteristic component of the fruit (Demircan and Velioğlu, 2021). Avocado also contains significant amounts of Omega-6 and small amounts of Omega-3 fatty acids (Şan et al., 2022). In addition to these, avocado is known as a "healthy fruit" due to its content of important vitamins (B1, B2, B6, B9, B12, C, D, E, and K), essential minerals such as potassium, magnesium, phosphorus, calcium, essential amino acids (valine, lysine, phenylalanine, isoleucine, leucine, threonine, and methionine), pigments (anthocyanins, chlorophylls, and carotenoids), sterols, and phenolic compounds. The fruit contains 80% dietary fiber, with 30% soluble and 70% insoluble fiber. The fleshy part of the fruit comprises 65-75% of its total mass (Demircan and Velioğlu, 2021; Tan and Ghazali, 2019; Tavlı and Özkan, 2020).

Studies have shown that increasing avocado consumption reduces the risk of obesity (Demircan and Velioğlu, 2021). It has been reported that avocado consumers have significantly lower abdominal obesity, body weight, and body mass index (BMI) compared to those who do not consume avocado. Avocado, with its high fat and fiber content, helps maintain satiety and supports weight loss by altering the gut microbiota composition. Due to its digestible fats and low sugar content, it is used in the diets of individuals with diabetes (Adaramola et al., 2016). An average avocado weighing 300 grams contains approximately 478 kcal (Dal-Bó and Freire,

2022). In a study conducted with over 55,000 people, it was observed that individuals who consumed avocado in their diets had gained less weight after 11 years and had a lower risk of developing obesity (Khan et al., 2021).

3. Traditional Use of *Cucurbita pepo* L. and *Persea gratissima* Gaertner Species

3.1. Traditional Use of *Cucurbita pepo* L.

In various regions of Turkey, the seeds of *Cucurbita pepo* are used to treat urinary difficulties caused by prostate disorders. Additionally, a paste made by boiling the seeds in milk or water is applied externally to the throat for the treatment of painful cough and bronchitis. Other uses of the plant are listed in the table below. The seeds are also consumed on an empty stomach or used as a decoction for antihelminthic purposes, as recorded in ethnobotanical studies (Table 1). *Cucurbita pepo* is traditionally used in many countries for various purposes. It is utilized as an anti-inflammatory for the treatment of various diseases, as well as for its antiviral, analgesic, antiulcer, antidiabetic, and antioxidant properties (Ratnam et al., 2017). Table 1 below presents the various plant parts and their uses.

Table 1: Traditional Uses of Pumpkin (*Cucurbita pepo*) (Tuzlacı, 2006; Tuzlacı, 2016))

Used Part	Location	Method of Use	Purpose
Seed	Ankara, Erzincan, Erzurum, Istanbul, Muğla	Consumed on an empty stomach	Against intestinal worms
Seed	Uşak	Used as a decoction after being crushed	Against intestinal worms
Seed	Uşak	Used as a decoction after being crushed	Against constipation
Fruit	Mersin	Stuffed or prepared as a dish with olive oil	Against constipation

3.2. Traditional Use of *Persea gratissima* Gaertner

Avocado has primarily been used as a food source (Demircan and Velioglu, 2021). The fruit and leaf extracts of the plant have been incorporated into traditional medicines (Egbonu et al., 2017). Additionally, the seeds of this species have traditionally been used to control hyperglycemia in diabetic patients. This traditional use has been tested in an animal experiment using diabetic rats. According to the results of the experiment, the water extract of the seed demonstrated a significant hypoglycemic effect (Alhassan et al., 2012). In addition to its use as

a food, there is information about its use in traditional treatments for diseases such as cancer and cardiovascular diseases (Şan et al., 2022). Furthermore, this species has been documented as being used in traditional medicine for the treatment of various diseases, including hypertension, stomach pain, bronchitis, diarrhea, and diabetes (Yasir et al., 2010).

4. CONCLUSION

Throughout human history, plants have been used for various purposes. In addition to being valuable food sources, they have also had numerous traditional uses. In this study, the botanical characteristics, chemical compositions, uses in weight control, and traditional uses of *Cucurbita pepo* L. and *Persea gratissima* Gaertner were compiled, aiming to provide a resource for future research on these species.

Obesity has become one of the most significant health issues in recent years. As a factor contributing to many diseases, obesity is being addressed through various diet types alongside exercise. However, compared to some high-risk diet types, plant-based diets, in particular, appear to be a safe, reasonable, and long-term solution for obesity. Plants are a good source for diets due to their low-calorie content and positive effects on gut flora (Ahmad, 2022). The *Cucurbita pepo* L. and *Persea gratissima* Gaertner species, which we examined in our study, are among the most preferred species in diet plans. Furthermore, the traditional uses we listed for both species can serve as a guiding resource for future studies.

REFERENCES

- Adaramola, B., Onigbinde, A., and Shokunbi, O., Physiochemical properties and antioxidant potential of *Persea americana* seed oil, *Chemistry International*, 2, 3, 168-175, 2016.
- Ahmad, S. R., Plant-based diet for obesity treatment, *Frontiers in Nutrition*, 9, 952553, 2022.
- Alhassan, A. J., Sule, M. S., Atiku, M. K., Wudil, A. M., Abubakar, H., & Mohammed, S. A., Effects of aqueous avocado pear (*Persea americana*) seed extract on alloxan-induced diabetes in rats, *Greener Journal of Medical Sciences*, 2, 1, 005-011, 2012.
- Araújo, R.G., Rodriguez-Jasso, R.M., Ruiz, H.A., Pintado, M.M.E., and Aguilar, C.N., Avocado By-Products: Nutritional and Functional Properties, *Trends in Food Science and Technology*, 80, 51-60, 2018.
- Caili, F. U., Huan, S. H. I., & Quanhong, L. I., A Review on Pharmacological Activities and Utilization Technologies of Pumpkin, 73-80, 2006.
- Dal-Bó, V., and Freire, J. T., Effects of lyophilization on colorimetric indices, phenolic content, and antioxidant activity of avocado (*Persea americana*) pulp, *Food Control*, 132, 108526, 2022.
- Demircan, B., and Velioğlu, Y. S., Avocado: Composition and health effects, *Akademik Gıda*, 19, 3, 309-324, 2021.

- Egbuonu, A. C. C., Opara, C. I., Atasié, O. C., and Mbah, U. O., Vitamin composition and antioxidant properties in normal and monosodium glutamate-compromised rats' serum of *Persea americana* (Avocado Pear) seed, *Open Access Journal of Chemistry*, 1, 19-24, 2017.
- Elinge, C. M., Muhammad, A., Atiku, F. A., Itodo, A. U., Peni, I. J., Sanni, O. M., & Mbongo, A. N., Proximate, mineral, and anti-nutrient composition of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seed extract, *International Journal of Plant Research*, 2, 5, 146-150, 2012.
- Ivanova, S., Delattre, C., Karcheva-Bahchevanska, D., Benbasat, N., Nalbantova, V., Ivanov, K., et al., Plant-based diet as a strategy for weight control, *Foods*, 10, 3052, 2021.
- Kahleova, H., Rembert, E., Alwarith, J., Yonas, W. N., Tura, A., Holubkov, R., ... & Barnard, N. D., Effects of a low-fat vegan diet on gut microbiota in overweight individuals and relationships with body weight, body composition, and insulin sensitivity. A randomized clinical trial, *Nutrients*, 12(10), 2917, 2020.
- Kalaiselvi, K., & Selvi, S., Phytochemical Screening and Antioxidant Activity of *Cucurbita pepo* Leaves, 3, 375-377, 2016.
- Khan, N. A., Edwards, C. G., Thompson, S. V., Hannon, B. A., Burke, S. K., Walk, A. D., and Holscher, H. D., Avocado consumption, abdominal adiposity, and oral glucose tolerance among persons with overweight and obesity, *The Journal of Nutrition*, 151, 9, 2513-2521, 2021.
- Kulczyński, B., and Gramza-Michałowska, A., The profile of secondary metabolites and other bioactive compounds in *Cucurbita pepo* L. and *Cucurbita moschata* pumpkin cultivars, *Molecules*, 24, 16, 2945, 2019.
- Majid, D., Dar, B. N., Parveen, S., Jabeen, A., Allai, F. M., Sofi, S. A., and Ganaie, T. A., Avocado, Antioxidants in Fruits: Properties and Health Benefits, 103-123, 2020.
- Ratnam, N., Najibullah, M., and Ibrahim, M. D., A review on *Cucurbita pepo*, *Int J Pharm Phytochem Res*, 9, 1190-1194, 2017.
- Şan, B., Yıldırım, A., Yıldırım, F., Binici, S., Çelik, C., Bayram, S., and Yılmaz, M., Fatty acid content of some avocado (*Persea americana* Mill.) varieties under ecological conditions of Antalya, *Mustafa Kemal University Journal of Agricultural Sciences*, 27, 3, 525-531, 2022.
- Tan, C. X., and Ghazali, H. M., Avocado (*Persea americana* Mill.) oil, *Fruit Oils: Chemistry and Functionality*, 353-375, 2019.
- Tavlı, Ö. F., and Özkan, E. E., Evaluation of *Persea americana* Mill. (Avocado) and its medicinal aspects in Turkish culture, *Mersin University Faculty of Medicine Lokman Hekim Journal of Medical History and Folkloric Medicine*, 10, 1, 28-36, 2020.
- Tuzlacı, E., *Şifa Niyetine: Türkiye'nin bitkisel halk ilaçları* (In the name of healing: Herbal folk remedies of Turkey), Alfa Publishing, 2006.
- Tuzlacı, E., *Türkiye Bitkileri Geleneksel İlaç Rehberi: Türkiye'de Bitkilerle Geleneksel Tedavi* (Traditional Medicine Guide of Turkish Plants: Traditional Treatments with Plants in Turkey), İstanbul Medical Health and Publishing, 2016.
- Wang, H. N., Xiang, J. Z., Qi, Z., & Du, M., Plant extracts in prevention of obesity, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(8), 2221-2234, 2022.
- Yasir, M., Das, S., and Kharya, M. D., The phytochemical and pharmacological profile of *Persea americana* Mill., *Pharmacognosy Reviews*, 4, 7, 77, 2010.

HASBAMBULOTU (*HELIOTROPİUM haussknechtii Bunge*) EKSTRAKTLARININ SAĞLIKLI HÜCRE HATLARINDA ETKİLERİN İNCELENMESİ

Hasan DAĞLI¹, İ.Seyfettin Çelik²

¹kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Tıbbi Biyokimya, Onikişubat/Kahramanmaraş, Türkiye
hasandagli63@gmail.com ORCID: 0000-0003-2756-6277

²kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sağlık Meslek Yüksekokulu Onikişubat/Kahramanmaraş, Türkiye
i.seyfetincelik@gmail.com ORCID: 0000-0001-6946-4477

Hasbambulotu (*Heliotropium haussknechtii bunge*), Türkiye'nin Adana alt bölgesine endemik bir bitki türüdür. Çiçekleri, güneşe yönelme özelliği gösterir ve bu özellik, bitkinin bilimsel adı olan *Heliotropium* kelimesiyle yansıtılmaktadır. Endemik bitkiler, özel bileşikler içerir ve bunlar kanser hücrelerinin büyümesini engellemeye, tümörlerin yayılmasını durdurmaya ya da kanser hücrelerini öldürmeye yardımcı olabilecek potansiyele sahiptir. Bu bağlamda, *Heliotropium haussknechtii* ekstraktlarının sağlıklı hücre hatlarında incelenmesi, ileriye dönük kanser çalışmaları için önemli bir adım teşkil etmektedir. Bu çalışmalar, bitkinin sitotoksik etkilerinin belirlenmesini ve potansiyel anti-kanserojen özelliklerinin ortaya konmasını amaçlamaktadır. Bitkiler kurutulup öğütülerek metanolde çözülmüş ve Soxhlet ekstraksiyonu ile 65°C'de 4-6 saat işleme tabi tutulmuştur. Elde edilen özüt, çözücüsünden arındırılarak kurutulmuş ve +4°C'de saklanmıştır. Beas-2B hücre hattı DMEM, Huvec hücre hattı ise RPMI 1640 ortamında kültüre edilmiştir. Hücre canlılığı, MTT assay yöntemiyle değerlendirilmiş, absorbans ölçülerek IC50 değeri hesaplanmıştır. Deneyler üç kez tekrarlanmıştır. MTT boyası eklenip 4 saat inkübe edildikten sonra absorbans 570 nm'de ölçülerek IC50 ve seçicilik indeksi hesaplanmıştır. Beas-2B ve Huvec hücre hatlarında elde edilen veriler, bileşiklerin etkisini göstermektedir. İstatistiksel analizler P<0,05 düzeyinde yapılmış ve sonuçlar anlamlı bulunmuştur. Beas-2B hücre hattında kontrol grubu ile *Heliotropium haussknechtii Bunge*'nin ilk iki dozu arasında önemli farklar gözlemlenmiştir. HUVEC hücre hattında ise kontrol grubu ile *Heliotropium haussknechtii Bunge* 'nin ilk üç dozu arasında anlamlı farklar tespit edilmiştir. Bu bulgular, *Heliotropium haussknechtii Bunge*'in terapötik potansiyelini inceleyen gelecekteki çalışmalarda kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Endemik bitki, *Heliotropium haussknechtii*, MTT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF HASBAMBULUT (*HELIOTROPİUM haussknechtii bunge*) EXTRACTS ON HEALTHY CELL LINES

Hasan DAĞLI, İ.Seyfettin Çelik

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Medical of Biochemistry, Onikişubat/Kahramanmaraş, Turkey
hasandagli63@gmail.com ORCID: 0000-0003-2756-6277

²Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Health Vocational School Onikişubat/Kahramanmaraş, Turkey
i.seyfettinçelik@gmail.com ORCID: 0000-0001-6946-4477

Heliotropium haussknechtii (Hasbambulotu) is a plant species endemic to the Adana sub-region of Turkey. Notably, its flowers exhibit heliotropic behavior, orienting towards the sun, a characteristic reflected in its scientific name *Heliotropium*. Endemic plants often contain bioactive compounds that may have therapeutic potential, including the ability to inhibit cancer cell proliferation, prevent tumor metastasis, or induce cancer cell death. In this context, investigating the effects of *Heliotropium haussknechtii* extracts on healthy cell lines is a critical step for advancing cancer research. These studies aim to assess the cytotoxic effects of the plant and explore its potential anti-carcinogenic properties. The plant material was dried, ground into a powder, and extracted using Soxhlet extraction with methanol at 65°C for 4–6 hours. The solvent was evaporated, and the resulting extract was stored at 4°C. The Beas-2B cell line was cultured in DMEM, while the HUVEC cell line was maintained in RPMI 1640 medium. Cell viability was assessed using the MTT assay, with absorbance measured at 570 nm. The IC50 value was calculated, and experiments were performed in triplicate. Following incubation with MTT dye for 4 hours, absorbance was measured at 570 nm to calculate the IC50 and selectivity index. The data from the Beas-2B and HUVEC cell lines provided insight into the effects of the compounds. Statistical analyses were performed at the $P < 0.05$ significance level, and the results were found to be statistically significant. In the Beas-2B cell line, significant differences were observed between the control group and the first two doses of *Heliotropium haussknechtii* extract. In the HUVEC cell line, significant differences were noted between the control group and the first three doses of the extract. These findings suggest that *Heliotropium haussknechtii* has the potential to be explored in future studies investigating its therapeutic properties, particularly in the context of cancer treatment.

Key words: Endemic plant, *Heliotropium haussknechtii*, MTT

GİRİŞ

Hasbambulotu (*Heliotropium haussknechtii*), Türkiye'nin Adana alt bölgesine endemik bir bitki türüdür ve nadir bitkiler arasında yer alır. Bu bitki, özellikle çiçeklerinin güneşe yönelme (heliotropizm) özelliğiyle dikkat çeker. Heliotropizm, bitkilerin güneşe doğru yönelmeleri ya da güneşin konumuna göre kendilerini döndürmeleri fenomenidir(1). *Heliotropium haussknechtii*'nin bilimsel adı, bu özel özelliği yansıtmak için seçilmiştir. Hasbambulotu'nun bu özelliği, bitkilerin çevresel koşullara uyum sağlama mekanizmalarından biri olarak, biyolojik ve ekolojik anlamda büyük öneme sahiptir. *Heliotropium* türleri, özellikle farmasötik ve tıbbi özellikleri ile de tanınmaktadır. Bu bitkiler, farklı bileşenler içerir ve bu bileşenler, çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmak üzere potansiyel taşımaktadır(2-5). *Heliotropium haussknechtii*'nin, içeriğindeki bazı kimyasal maddeler sayesinde özellikle kanser tedavisi ve önlenmesi konusunda önemli bir araştırma konusu olmuştur. Endemik bitkiler, genellikle buldukları bölgenin ekosistemine özgü olarak, biyolojik açıdan zengin bileşikler üretirler. Bu bileşiklerin, özellikle kanser hücrelerinin büyümesini engellemeye yönelik etkileri üzerine yapılan çalışmalar, bu bitkinin tıbbi alandaki potansiyelini ortaya koymaktadır(2-5).

Endemik bitkiler, yalnızca belirli coğrafi bölgelerde bulunan ve o bölgenin ekosistemine özgü adaptasyonlar geliştiren bitki türleridir. Bu bitkiler, genetik çeşitlilikleri sayesinde benzersiz biyolojik aktif bileşikler üretir ve bu bileşikler, anti-inflamatuar, antibakteriyel, antiviral ve antikanserijen gibi çeşitli sağlık faydalarına sahip olabilir(6,9). *Heliotropium haussknechtii*, Türkiye'nin Adana alt bölgesine özgü bir bitki olarak, bu tür özelliklere sahip olma potansiyeline sahiptir. Bu bitkinin biyolojik aktif bileşiklerinin kanser tedavisindeki rolünü araştırmak, biyoteknoloji ve farmasötik alanında önemli katkılar sağlayabileceğine inanılmaktadır.

Kanser, hücrelerin anormal şekilde bölünüp çoğalarak vücutta kontrolsüz yayılması sonucu ortaya çıkan bir hastalıktır. Genetik değişiklikler ve çevresel faktörler bu süreçte önemli rol oynar. Geleneksel tedavi yöntemleri arasında cerrahi müdahale, kemoterapi ve radyoterapi yer alırken, bu yöntemlerin yan etkileri hastalar üzerinde ciddi etkiler yaratabilir. Bu nedenle, alternatif tedavi seçenekleri üzerine yapılan araştırmalar önem kazanmıştır(7-9).

Endemik bitkiler, içerdiği doğal bileşiklerle kanser tedavisinde alternatif olma potansiyeline sahiptir. Bu bitkiler, kanser hücrelerinin çoğalmasını engelleyebilir ve sağlıklı hücrelere zarar vermeden tedavi edici özellikler gösterebilir(10-12). *Heliotropium haussknechtii*, Adana bölgesine özgü bir bitki olarak bu tür özelliklere sahip olabilir. Bitkinin kanser hücreleri üzerindeki etkilerini incelemek için *in vitro* ve *in vivo* çalışmalar gereklidir. Bu çalışmalar, bitkinin sağlıklı hücrelere zarar vermeden kanser hücrelerini hedef alıp almadığını ve hangi biyolojik bileşiklerin etkili olduğunu belirlemek için önemlidir(10-12).

Heliotropium haussknechtii'nin kanser tedavisindeki potansiyeli, biyoteknolojik ve farmasötik araştırmalar için yeni bir yol açabilir. Gelecekte, bu bitkiden elde edilen bileşiklerin kanser tedavisinde kullanılacak farmasötik ürünlere dönüştürülmesi mümkün olabilir. Ayrıca, bitkinin diğer hastalıklar üzerindeki potansiyel etkileri de araştırılmalıdır. *Heliotropium haussknechtii* ve benzeri bitkiler, sağlık bilimlerinde önemli katkılar sağlayabilir ve tedavi alanında yeni seçenekler sunabilir.

MATERYAL METOT

Bitki Ekstrasyonun Hazırlanması:

Heliotropium haussknechtii ekstraksiyonu için, öncelikle bitkiler uygun koşullarda kurutulup blenderda öğütüldü. Ardından, 10 gram öğütülmüş Heliotropium haussknechtii, 1:10 (w/v) oranına göre metanolla çözüldü. Soxhlet ekstraksiyon cihazına yerleştirilen bu bitkiler, metanol ile 65°C'de 4-6 saat süreyle işleme tabi tutuldu. Ekstrasyon sonrası, oluşan sıvı, evaporatörle çözücüsü uçurulup, geriye kalan özüt küçük bir şişeye alınarak etüvde tamamen kurutuldu. Elde edilen bitki özütü, kontaminasyon riskini önlemek için +4°C'de muhafaza edildi.

Soxhlet Ekstraksiyon Yöntemi:

Soxhlet ekstraksiyon yöntemiyle, 1:10 (ağırlık/hacim) oranında öğütülmüş bitkiler metanol ile çözücülendi ve cihazda 4-6 saat boyunca ekstrakte edildi. Ekstrakt, steril filtre kağıtları ile süzüldü ve fazla metanol, evaporatör ile uzaklaştırıldı. Elde edilen özüt, 37°C'de etüvde kurutulmaya alındı.

Hücre Hatlarının Hazırlanması

Beas-2B hücre hattı, American Type Culture Collection (ATCC), Manassas, VA'dan temin edilmiştir ve tüm deneyler için 7. pasajdan daha düşük seviyelerde yetiştirilmiştir. Beas-2B hücreleri, %10 fetal bovin serum içeren Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM, Life Technologies, CA, ABD) ile kültüre edilmiş ve 37°C, %5 CO₂ ortamında inkübe edilmiştir.

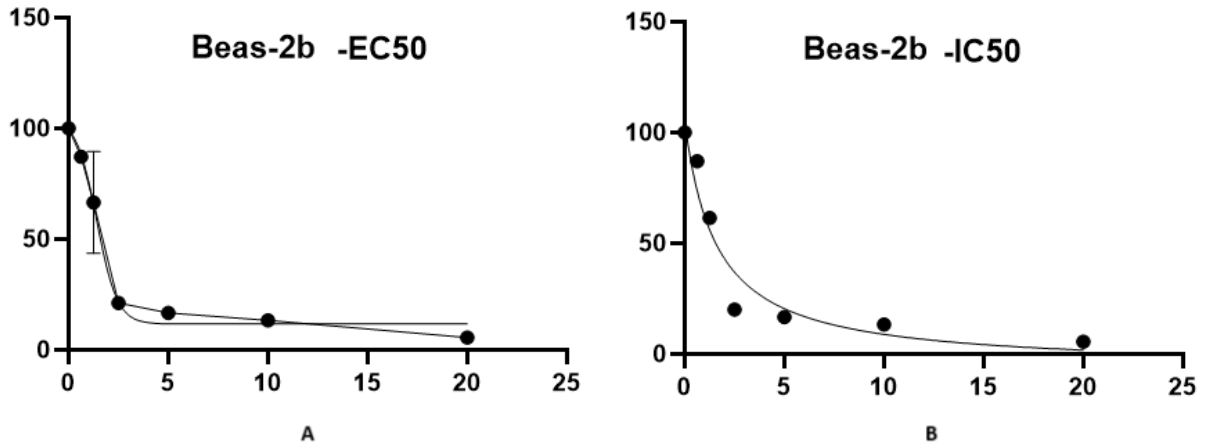
Huvec hücre hattı için RPMI 1640 (Roswell Park Memorial Institute) besiyeri hazırlanmış ve içine %10 fetal bovin serum (FBS) ve %1 penisilin/streptomisin eklenmiştir. Hazırlanan besiyerinden 10 mL, T75 hücre kültür flaskına aktarılmış ve 37°C'deki su banyosundan alınan kriyotüp içerisindeki hücrelerden 1 mL alınarak T75 hücre kültür flaskına eklenmiştir. Flask içerisindeki hücreler, 37°C'de %5 CO₂ içeren inkübatörde inkübe edilmiştir.

Hücre Canlılık Testi (MTT Assay Yöntemi)

MTT testi, hücre canlılığını değerlendirmek için kullanılan yaygın bir yöntemdir. Bu yöntemde, Thoma lamı ile hücre sayımı yapılarak, her doz için 5.000-10.000 hücre içeren 96 kuyucuklu plakaya üçlü tekrarlarla ekleme yapılmıştır. Plakalar, 37°C ve %5 CO₂ ortamında 1 gün inkübe edildikten sonra, her kuyucuğa 0-50 µM arasında değişen bileşik çözeltileri eklenmiş ve 24 saat inkübe edilmiştir. MTT boyası, 5 mg/mL konsantrasyonunda hazırlanarak her kuyucuğa 10 µL eklenmiş ve 4 saat inkübe edilmiştir. Ardından, çözünürleştirme solüsyonu eklenmiş ve plakalar 12 saat inkübe edilerek, absorbans değeri 570 nm'de ölçülmüştür. Hücre canlılık oranı, absorbans farkları ile hesaplanmış ve IC₅₀ değeri % hücre canlılık grafiği kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca, bileşiklerin seçicilik indeksi hesaplanmış ve deneyler üçlü tekrarlarla gerçekleştirilmiştir.

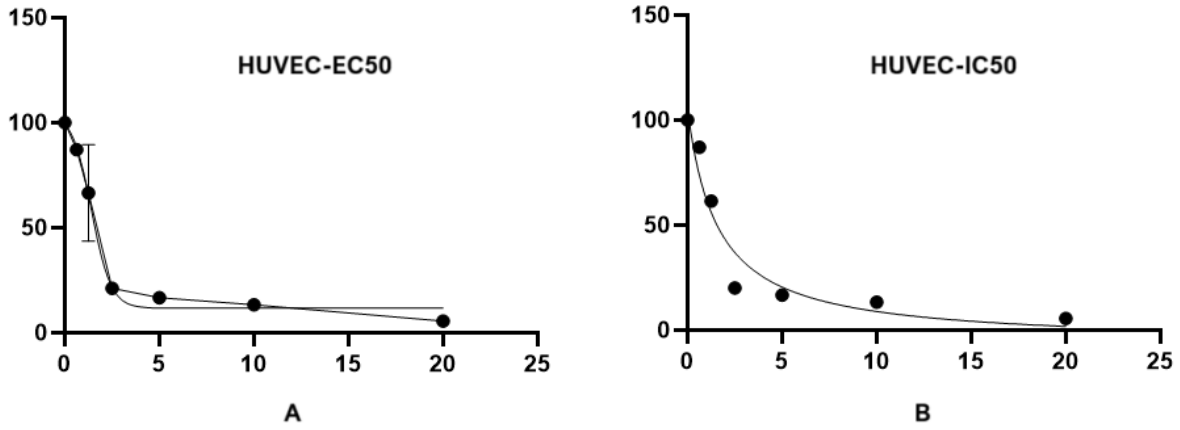
BULGULAR

Bitkiler kurutulup öğütüldükten sonra 10 gram bitki metanolde çözüldü ve Soxhlet ekstraksiyon cihazında 65°C’de ekstrakte edildi. Elde edilen özüt, çözücüsü uzaklaştırılarak kurutuldu ve +4°C’de saklandı. Beas-2B hücre hattı DMEM ile kültüre edilip, MTT assay ile hücre canlılığı değerlendirildi. Absorbans 570 nm’de ölçülerek IC50 ve seçicilik indeksi hesaplandı. Beas-2B ve Huvec hücre hatlarında yapılan hücre canlılık testlerine ilişkin elde edilen veriler, çeşitli konsantrasyonlardaki bileşiklerin etkisini göstermektedir ve bu sonuçlar grafiklerle sunulmuştur(Gör1, Gör 2, Gör 3 , Gör 4,). İstatistiksel analizler, farklı tedavi gruplarının karşılaştırılmasında anlamlı farkların olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılmış ve anlamlılık düzeyi P<0,05 olarak kabul edilmiştir. Bu, elde edilen hücre canlılığı üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.



Görsel 1: Heliotropium haussknechtii Beas-2b hücre hatlarında MTT testi hücre canlılık testleri sonuçları.

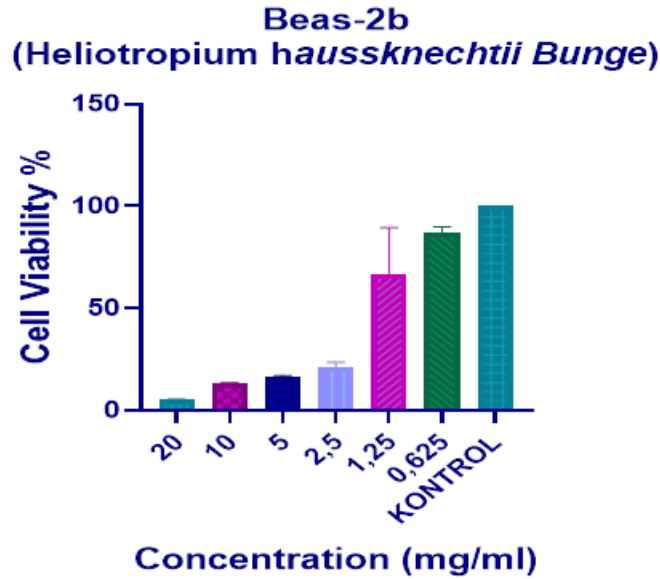
A. EC50 Değeri: Hücrelerin %50'sinin canlı kalmasını sağlayan bileşik konsantrasyonu.
B. IC50 Değeri: Hücre canlılığını %50 oranında inhibe eden bileşik konsantrasyonu, toksik etkinin derecesi



Görsel 2: Heliotropium haussknechtii HUVEC hücre hatlarında, MTT testi hücre canlılık testleri sonuçları.

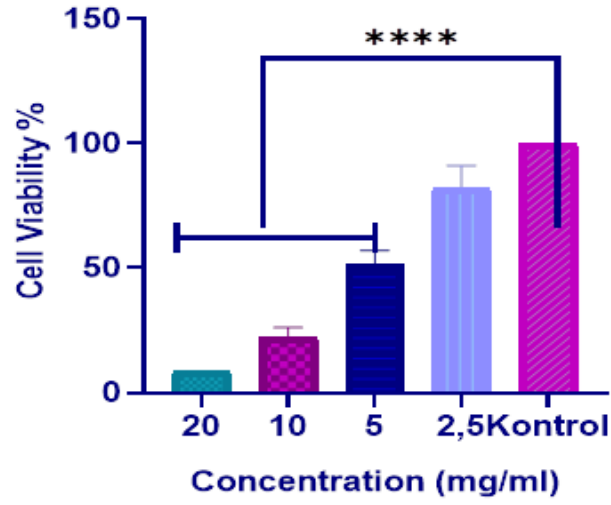
A. EC50 Değeri: Hücrelerin %50'sinin canlı kalmasını sağlayan bileşik konsantrasyonu.

B. IC50 Değeri: Hücre canlılığını %50 oranında inhibe eden bileşik konsantrasyonu, toksik etkinin derecesi



Görsel 3: Beas-2b hücre hatlarında Heliotropium haussknechtii çözeltilerinin etkisiyle elde edilen hücre canlılık oranları, MTT boyası kullanılarak absorbans ölçülerek hesaplanmıştır. İstatistiksel analizler, farklı konsantrasyonlardaki etkilerin $P < 0,05$ anlamlılık düzeyinde olduğunu göstermektedir.

HUVEC *Heliotropium haussknechtii* bunge



Görsel 4: HUVEC hücre hatlarında *Heliotropium haussknechtii* çözeltilerinin etkisiyle elde edilen hücre canlılık oranları, MTT boyası kullanılarak absorbans ölçülerek hesaplanmıştır. İstatistiksel analizler, farklı konsantrasyonlardaki etkilerin $P < 0,05$ anlamlılık düzeyinde olduğunu göstermektedir.

TARTIŞMA

Heliotropium haussknechtii, Türkiye'nin Adana alt bölgesine özgü bir bitki türüdür. Endemik bitkiler, benzersiz bileşikler içerir ve bu bileşikler, kanser hücrelerinin büyümesini engellemeye, tümörlerin yayılmasını durdurmaya veya kanser hücrelerini öldürmeye potansiyel olarak yardımcı olabilir(1-3). Bu nedenle, *Heliotropium haussknechtii*'nin ekstraktlarının sağlıklı hücre hatlarında incelenmesi, kanser tedavisinde yeni yaklaşımlar geliştirilmesi açısından önemli bir adımdır. Bu araştırmalar, bitkinin sitotoksik etkilerinin ve anti-kanserojen potansiyelinin ortaya konmasına odaklanmaktadır.

Heliotropium haussknechtii, Türkiye'nin Adana alt bölgesine özgü bir endemik bitki türüdür ve daha önce kanser hücreleri ile sağlıklı hücre hatları üzerinde etkileri araştırılmamıştır. Bu çalışmanın amacı, *Heliotropium haussknechtii*'nin farklı hücre hatlarında (kanser ve sağlıklı hücre hatları) hedef dozlarını belirleyerek, bu bitkinin potansiyel terapötik etkilerini ortaya koymaktır. Yapılacak olan bu çalışmalar, bitkinin sitotoksik etkilerinin belirlenmesinin yanı sıra, sağlıklı hücrelere zarar vermeden kanser hücrelerini hedef alıp almadığını da araştırdı. Bu sayede, *Heliotropium haussknechtii*'nin kanser tedavisinde kullanılabilirliğini test etmek amacıyla yapılacak gelecekteki araştırmalar için değerli bir referans oluşturulacaktır.

Beas-2B ve Huvec hücre hatlarında yapılan çalışmalar, *Heliotropium haussknechtii* Bunge'nin terapötik potansiyelini değerlendiren önemli bulgular sunmaktadır(13,14). Beas-2B hücre hattında, kontrol grubu ile bitkinin ilk iki dozunun uygulandığı gruplar arasında anlamlı farklar gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, Huvec hücre hattında da kontrol grubu ile *Heliotropium haussknechtii* Bunge'nin ilk üç dozu arasında önemli farklar bulunmuştur. Bu sonuçlar, bitkinin içeriğindeki bileşiklerin hem Beas-2B hem de Huvec hücreleri üzerinde etkili olabileceğini ve bu bileşiklerin terapötik alanda kullanım potansiyelini işaret etmektedir. Beas-2B hücre hattı, akciğer epitelyum hücrelerinden türetilen bir hücre hattıdır ve bu hücreler genellikle toksikolojik ve kanser araştırmalarında kullanılır. Yapılan deneyde, *Heliotropium haussknechtii* Bunge'nin ilk iki dozunun, Beas-2B hücreleri üzerinde belirgin bir etki gösterdiği görülmüştür. Bu bulgu, bitkinin hücre canlılığını etkileyebilecek potansiyele sahip olduğunu, ancak tedavi dozlarının dikkatlice belirlenmesi gerektiğini göstermektedir. *Heliotropium haussknechtii* Bunge'nin, kanser hücrelerini hedef alarak sağlıklı hücrelere zarar vermeden etkili bir tedavi sağlayabilme potansiyeli, bu alandaki araştırmalar için büyük bir önem taşımaktadır. Hücre canlılık testlerinin yanı sıra, bitkinin sitotoksik etkileri üzerine yapılan daha detaylı çalışmalar, tedavi sürecinin daha spesifik ve hedefe yönelik olmasını sağlayabilir. Huvec hücre hattı, insan vasküler endotel hücrelerinden türetilmiştir ve özellikle damar endotel hücreleriyle ilgili araştırmalarda kullanılır. *Heliotropium haussknechtii* Bunge'nin Huvec hücre hattı üzerindeki etkileri de dikkat çekicidir. İlk üç dozun, bu hücrelerin büyümesini engelleme ve hücre çoğalmasını azaltma potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, bitkinin endotel hücreleri üzerinde anti-angiogenetik etkiler göstererek, kanser tedavisinde damar oluşumunu (angiogenez) engelleme yönünde bir mekanizma geliştirebileceğini düşündürmektedir. Angiogenez, tümörlerin büyümesi ve yayılması için önemli bir süreçtir, bu nedenle bu tür bileşiklerin, kanser tedavisinde önemli bir strateji olabileceği açıktır(15_17).

Bu bulgular, *Heliotropium haussknechtii* Bunge'nin kanser tedavisindeki potansiyelini

göstermektedir. Ancak, etkinliği ve güvenliği konusunda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Özellikle, bitkinin farklı hücre hatları üzerindeki etkileri ve hangi mekanizmalarla etki gösterdiği hakkında daha fazla bilgi sağlanmalıdır. Gelecek çalışmalarda, bitkinin etkili bileşenlerinin izole edilmesi ve in vivo çalışmalarla organizmadaki davranışının incelenmesi önemlidir. Heliotropium haussknechtii Bunge'nin içerdiği biyolojik aktif bileşiklerin, kanser hücrelerinin büyümesini engelleme ve sağlıklı hücrelere zarar vermeden etkili tedavi sağlama potansiyeli bulunabilir. Ayrıca, bu bitkinin diğer hastalıklar üzerindeki etkileri de araştırılmalıdır.

Sonuç olarak, Heliotropium haussknechtii Bunge'nin kanser tedavisindeki potansiyelini keşfetmek, bu bitkinin farmasötik ve biyoteknolojik alanlardaki katkılarını artırabilir. Yapılacak daha kapsamlı araştırmalar, bitkinin terapötik özelliklerini daha iyi anlamamıza ve klinik kullanıma yönelik yeni tedavi seçeneklerinin geliştirilmesine olanak sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

1. Khan, H. Implications of Climate Change on the Nasty Weeds of Forages and Rangelands. *A Look into Some Recent Advances in Biology, Ecology, and Agricultural Practices*, 49.
2. Akhani, H. Diversity, Biogeography, and Photosynthetic Pathways of Argusia and Heliotropium (Boraginaceae) in South-West Asia with an Analysis of Phytogeographical Units. *Bot. J. Linn. Soc.*, 2007, 155 (3), 401–425.
3. Aytaç, Z.; Duman, H. The Steppic Flora of High Mounts Ahir, Oksus and Binboga (Kahramanmaraş, Kayseri, Turkey). *Flora Mediterr.*, 2005, 15, 121–178.
4. Masoumi, S. M.; Mosaber, A.; Azami, E.; Bolon, M.; Yari, S.; Heshmati, F. Phonology and Seasonal Aspects for Some Plants in Kermanshah Area. *J. Bot.* 2013.
5. Akhani, H. Halophytic Vegetation of Iran: Towards a Syntaxonomical Classification. *Annali di Botanica*, 2004, 4, 65–82.
6. Coelho, N.; Gonçalves, S.; Romano, A. Endemic Plant Species Conservation: Biotechnological Approaches. *Plants*, 2020, 9 (3), 345.
7. Kauroo, S.; Govinden-Soulange, J.; Ranghoo-Sanmukhiya, V. M.; Miranda, K.; Cotham, W. E.; Walla, M. D.; Nagarkatti, P. Extracts of Select Endemic Plants from the Republic of Mauritius Exhibiting Anti-Cancer and Immunomodulatory Properties. *Sci. Rep.*, 2021, 11 (1), 4272.
8. Ali, M. M.; Ciğerci, İ. H. Genotoxic Evaluation of an Endemic Plant *Thermopsis turcica* Extracts on Liver Cancer Cell Line. *Pak. J. Zool.*, 2019, 51 (1), 355–357.
9. Matić, I. Z.; Aljančić, I.; Vajs, V.; Jadranin, M.; Gligorijević, N.; Milosavljević, S.; Juranić, Z. D. Cancer-Suppressive Potential of Extracts of Endemic Plant *Helichrysum zivojinii*: Effects on Cell Migration, Invasion and Angiogenesis. *Nat. Prod. Commun.*, 2013, 8 (9), 1934578X1300800927.
10. Gonzales, G. F.; Valerio, L. G. Medicinal Plants from Peru: A Review of Plants as Potential Agents Against Cancer. *Anti-Cancer Agents Med. Chem.*, 2006, 6 (5), 429–444.
11. Yıldırım, M.; Binzet, G.; Binzet, R.; Yabalak, E. A Natural Approach to Breast Cancer Treatment: Investigation of Chemical Features of Aerial Parts of Endemic *Onosma sintenisii* Hausskn. ex Bornm and Its Antioxidant Properties, In Vitro Cytotoxic and Apoptosis Induction on MCF-7 Cells. *Int. J. Environ. Health Res.*, 2024, 1–14.

12. Canoy, R. J. C.; Lomanta, J. M. J. C.; Ballesteros, P. M.; Chun, E. A. C.; Dator, R. P.; Jacinto, S. D. Cancer Chemotherapeutic Potential of Endemic and Indigenous Plants of Kanawan, Morong, Bataan Province, Philippines. *Phytochem. Rev.*, 2010.
13. Chaudhary, P.; Janmeda, P.; Pareek, A.; Chuturgoon, A. A.; Sharma, R.; Pareek, A. Etiology of Lung Carcinoma and Treatment Through Medicinal Plants, Marine Plants and Green Synthesized Nanoparticles: A Comprehensive Review. *Biomed. Pharmacother.*, 2024, 173, 116294.
14. Sharma, G.; Nim, S.; Alle, M.; Husen, A.; Kim, J. C. Nanoparticle-Mediated Delivery of Flavonoids for Cancer Therapy: Prevention and Treatment. In *Smart Nanomaterials in Biomedical Applications* (pp. 61–100). Cham: Springer International Publishing, 2022.
15. Direko, P. Evaluation of Effects of Selected Medicinal Plants on Angiogenesis by Determining Their Inhibitory Effects on Cox-2, Nos, and Lox Enzymes. *J. Biol. Chem.*, 2018.
16. Matic, I. Z.; Aljančić, I.; Vajs, V.; Jadranin, M.; Gligorijević, N.; Milosavljević, S.; Juranić, Z. D. Cancer-Suppressive Potential of Extracts of Endemic Plant *Helichrysum zivojinii*: Effects on Cell Migration, Invasion and Angiogenesis. *Nat. Prod. Commun.*, 2013, 8 (9), 1934578X1300800927.
17. Kasapoğlu, K. N.; Altin, G.; Farooqi, A. A.; Salehi, B.; Setzer, W. N.; Sharifi-Rad, J. Anti-Proliferative, Genotoxic, and Cytotoxic Effects of Phytochemicals Isolated from Anatolian Medicinal Plants. *Cell. Mol. Biol.*, 2020, 66 (4), 145–159.

KADINLARIN ÖZGÜR/SERBEST DOĞUM YAPMA MOTİVASYONLARI: KENDİSİNİN EBESİ OLMAYI SEÇEN KADINLARI ANLAMAK ÜZERİNE LİTERATÜR İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Vasviye EROĞLU

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversite Sağlık Bilimleri Fakültesi Ebelik Bölümü
vasviye.eroglu@gop.edu.tr - 0000-0003-0945-698X

Dr. Öğr. Üyesi Demet Çakır

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversite Sağlık Bilimleri Fakültesi Ebelik Bölümü
demet.cakir@gop.edu.tr - 0000-0003-4794-516X

Öğr. Gör. Arslan SAY

Amasya Üniversitesi, Sabuncuoğlu Şerefeddin Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu
arslan.say@amasya.edu.tr - 0000-0001-5454-3105

Özet

Son yıllarda yüksek gelirli ülkelerde sağlık çalışanlarının desteği olmadan doğum yapmayı düşünen kadınların sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

Özgür doğum, serbest doğum veya desteksiz doğum olarak da adlandırılan bu doğum şekli hakkında yabancı literatürde kısıtlı çalışmalar olmakla birlikte Türkiye’de konu ile ilgili yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Kadınların özgür doğum yapma motivasyonlarını anlamaya yönelik yapılan bu alan araştırmasında; annelik bakımıyla ilgili önceki olumsuz deneyimlerin, kadının kontrolü elinde tutma ve fizyolojik doğumun bozulmasını en aza indirme isteği, evde ebe eşliğinde doğum için ücret ödemek zorunda kalmamaları kadınların özgür doğum kararını etkileyen faktörler olarak belirlenmiştir.

Özgür doğum, kadınların kendi tercihleri ile seçtikleri bir durum iken, ebelerin, otonomi, risk alma ve sürecin yönetsel olarak nasıl işleneceğini bilmediği bir durum olarak stres yaratan bir durum olabilir. Ayrıca sürecin olumsuz işlediği veya bir riskin geliştiği durumda anne ve bebek sağlığı riske girebilir.

Sonuç olarak henüz Türkiye’de bilinmeyen özgür doğum, holistik ve hümanistik olmayan ebelik uygulamaları ortamlarında kadınların gelecekte tercih edebileceği ve anne bebek sağlığını risk altına sokabilecek bir doğum şekli olarak karşımıza çıkabilir. Bu riski önlemek için ebeler kadını merkeze koyarak, onun özerkliğine saygı duyarak ve gereksiz müdahalelerden uzak durarak kadının savunucusu olarak doğumları gerçekleştirmelidirler.

Anahtar kelimeler: Özgür doğum, serbest doğum, ebelik, doğum

Abstract

In recent years, the number of women considering giving birth without the support of health workers has been increasing day by day in high-income countries.

Although there are limited studies in foreign literature on this type of birth, also known as free birth, free birth or unassisted birth, no study has been found on the subject in Turkey. In this field research conducted to understand women's motivations for free birth; previous negative experiences with maternal care, the woman's desire to maintain control and minimize the disruption of physiological birth, and not having to pay a fee for a birth with a midwife at home were determined as factors affecting women's decision to give free birth.

While free birth is a situation that women choose by their own choice, it can be a stressful situation as midwives do not know how to manage the process administratively, such as autonomy, risk taking and the process. In addition, if the process is negative or a risk develops, the health of the mother and the baby can be at risk.

As a result, free birth, which is not yet known in Turkey, may be a birth type that women may prefer in the future in environments with non-holistic and non-humanistic midwifery practices and may put the health of the mother and the baby at risk. To prevent this risk, midwives should perform births as advocates for women, placing women at the center, respecting their autonomy, and avoiding unnecessary interventions.

Keywords: Freebirth, midwifery, birth

1. GİRİŞ

Doğum, bir kadının hayatındaki eşsiz deneyimlerden biridir. Gebe bir kadın için en iyi doğum sonuçları, gebelik doğum ve doğum sonrası dönemde kabul edilebilir, uygun fiyatlı, erişilebilir ve yüksek kaliteli doğum bakımı sağlanmasına bağlıdır. Ancak, doğumlarda müdahalelerin aşırı veya gereksiz kullanımı, kurumsal ortamlarda saygısız ve taciz edici davranışlara dair artan kanıtlar kadınların sağlık kurumları dışında ve profesyonel bir doğum desteği olmadan doğumu gerçekleştirme arayışına yol açmaktadır (Downe et al., 2018).

Ebe veya sağlık profesyonellerinin desteği olmadan doğumunu evde gerçekleştirmeyi seçen kadınların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Evde doğum, dünya çapında çok farklı şekilde deneyimlenmektedir. Bu deneyimler gebe, ailesi, destek ekibi, politikalar, gebeliğin veya doğumun gidişatı, hastane transferi, önceki doğum öyküsü gibi pek çok faktörden etkilense de evde doğumun gerçekleştiği sağlık sistemine göre farklılık göstermektedir (Brunton ve ark., 2021). Ancak bu duruma farklı bir boyut ile giren ve giderek bir akım halinde yaygınlaşan bir doğum tercihi vardır o da özgür doğumdur. Serbest doğum, yardımsız doğum olarak da adlandırılan Özgür Doğum, planlı bir şekilde doğumun evde veya başka bir yerde profesyonel bir anne bakımı olmadan yapılması olarak tanımlanmaktadır (Velo Higuera ve ark., 2024). Özgür doğum hastanelerin mevcut ve kolay erişilebilir olduğu ülkelerde, bir sağlık uzmanı olmadan evde doğum yapma kararıdır. Bu doğum şekli gebeliğin reddedilmesiyle veya kadınların doğum bakımına sınırlı veya hiç erişiminin olmamasıyla

karakterize doğumlardan farklı bir durumdur (Feeley ve ark., 2015). Ayrıca bu durum bir annenin, bir ebe evde doğuma katılmayı reddettiği veya ebesi gelmeden önce doğum yaptığı için istemeden tıbbi destek olmadan doğum yaptığı durumdan farklıdır. Özgür doğumda kadınlar doğum sırasında herhangi bir ebe desteğini, tıbbi tedaviyi, klinik izlemi veya teknoloji kullanımını reddetmektedir (Velo Higuera ve ark., 2024). Bu durum kadınların kendilerine sunulan doğum hizmetlerinden yararlanmamayı bilinçli bir şekilde seçtikleri bir durumdur. Bu kadınlardan bazıları, gereksiz müdahalelerin sonuçlarının fizyolojik doğuma zarar verdiğini, komplikasyonlara yol açtığını, hastanenin doğum için tehlikeli bir yer olduğunu savunmaktadır. Bazıları ise üreyen bedenine, kendine güvenmeyi seçerek bir direniş eylemi, radikal bir eylem olmadan bunu gerçekleştirmektedir (Feeley ve ark., 2015). Bu kadınlar doğum süreci boyunca bedenleri üzerinde seçim yapmak, kontrol ve özerkliği korumak için özgür doğumu seçme konusunda motive olmuşlardır. Ancak genel olarak özgür doğum bir şekilde kadınlara, gebelere ve ailelerine iyi hizmet etmeyen obstetrik ve ebelik sistemlerine karşı bir meydan okuma eylemidir. Özgür doğum yapan kadın (ve bebeği) potansiyel olarak artan bir morbidite veya mortalite riski altındadır.

Özgür doğumla ilgili ilk raporlar, 1950'lerin sonlarında ABD'de, doğumun yüksek oranda tıbbileştirildiği ve doğum bakımı seçeneklerinin olmadığı bir dönemde ortaya çıkmıştır (Edwards & Kirkham, 2013). Son on yılda, özgür doğumu tercih eden kadınların sayısında belirgin bir artış görülmüştür. İngiltere'de bir kadının bebeğini özgür doğumla dünyaya getirmesi ve doğum öncesi bakımın bir kısmını veya tamamını reddetmesi yasaldır. Bir kadın doğumda herhangi birinin bulunması veya tıbbi müdahale için zorlanamaz. Kadın kararını gerekçelendirmek veya belirli bir nedene dayandırmak zorunda değildir. Bir kadının tıbbi müdahaleyi, doğum öncesi ve doğum sonrası bakımı da içerecek şekilde dini nedenlerle, mantıklı veya mantıksız diğer nedenlerle veya hiçbir neden olmaksızın reddedebileceği bildirilmiştir (AIMS, 2020). Avustralya'da ise evde özel doğumun fonlanmamış ve sigortasız olması ayrıca önceki olumsuz doğum deneyimleri nedeniyle kadınlar arasında serbest doğumun yükselişte olduğu bildirilmiştir (Dahlen ve ark., 2011).

Özgür doğumun gizli doğası göz önüne alındığında, serbest doğum yapan kadınların sayısı hakkında kesin istatistikler yoktur. Tahminler verildiğinde, bunlar genellikle ani doğum oranlarıyla birleştirilmiştir. Bununla birlikte, özgür doğum medyada, literatürde akademik araştırmalarda yer alacak kadar yaygın hale gelmiştir. Özgür doğum, az sayıda kadın tarafından alınan bir karar olarak görülebilirken, olgunun incelenmesi doğum sisteminin çok daha geniş yönleri hakkında çıkarımlar yapmak adına önemlidir (Mckenzie ve ark., 2020). Bu nedenle, doğum hizmeti sunucularının kadınların neden bu seçimi yaptığını anlamak için bu olguyu araştırması hayati önem taşımaktadır.

Özgür doğumun seçildiği durumda, kadının doğum bakımında seçme özgürlüğünü ve 'sistem dışında' doğum yapmayı seçmesi durumunda ne yapılması gerektiği konusunu gündeme getirmektedir. Öte yandan sağlık sistemlerinin risksiz evde ebe liderliğinde bakım modelinde gerçekleştiği ve müdahalelerin minimal olduğu gelişmiş ülkelerde (Avustralya, Kanada, Finlandiya, İsveç, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri vb.) bir sağlık profesyonelinin yardımı veya bakımı olmadan doğum yapmayı tercih eden kadınların sayısı da gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle, artan tıbbi müdahalenin ve evde doğuma erişimin ötesine

bakmak ve bu konuyu açıklığa kavuşturmak için kadınların motivasyonlarını incelemek gerekmektedir (Hollander ve ark., 2017).

Bu tercihin ortak noktası kadınların doğum deneyimlerinin kontrolünü eline almak istemesidir. Ebe veya diğer sağlık profesyonelleri olmadan özgür doğum yapan kadınlar, önceki deneyimlerinde sağlık profesyonelleri tarafından klinik prosedürleri ve yönergeleri takip etmeye zorlandıklarını, ebelerle olumsuz deneyim yaşadıklarını ve yaşanıldığına inandıklarını bildirmişlerdir (Feeley ve ark., 2015). Kadınlar duygusal ve sosyal ihtiyaçlarının karşılanmadığını ve doğum haklarına saygı gösterilmediğini savunmaktadır (Johansson ve ark., 2023). Norveçli kadınların serbest doğum için motivasyonlarını inceleyen nitel bir çalışmada; tüm kadınlar, özellikle doğum sırasında aldıkları bakım olmak üzere, doğum bakımının organizasyonu hakkında düşüncelerini dile getirmişlerdir. Özgür doğum deneyimleyen kadınların çoğunluğu, çok doğum yapmış kadınlardı ve daha önce olumsuz doğum deneyimlerine sahip olduklarını bildirmişlerdir. Aynı çalışmada kadınların Norveç hastanelerindeki müdahale ve izleme oranlarının çok yüksek olduğu, sistemin doğal doğum yapmayı zorlaştırdığı ayrıca Norveç'teki evde doğum teklifinin sınırlı ve çok pahalı olduğunu düşündükleri için özgür doğumu tercih ettikleri bildirilmiştir. Yine aynı çalışmada katılımcıların tümü, hastanelerdeki müdahale oranının çok yüksek olduğunu, doğum sırasında meydana gelen komplikasyonların çoğunun müdahalelerin, hastanelerdeki zaman ve alan eksikliğinin sonucu olduğunu bildirmişlerdir (Henriksen ve ark., 2020). Johansson ve ark. (2023)'nın yapmış olduğu çalışmada kadınların bir kısmı ebeler dahil olmak üzere hiçbir kimsenin başka birinin doğurmasını sağlayamayacağını, doğumun bireysel bir deneyim olduğunu, bebeğini doğurmak için kadının kendi iç gücünü bulması gerektiğini bildirmişlerdir. Yapılan bir çalışmada özgür doğumu seçen kadınların bir kısmının da bu doğum şeklini ücretsiz olduğundan dolayı tercih ettikleri belirtilmektedir. Kadınlar özgür doğuma karar verdikten sonra, kendilerini tam olarak doğuma hazırlamak için çeşitli çabalar sarf ettiklerini, benzer şekilde özgür doğumu tercih eden diğer kadınlarla sosyal medya platformlarında buluşarak birbirlerine danıştıklarını bildirmişlerdir (Miller & Mississippi, 2009). Özgür doğumu seçen çoğu kadının, güvenebilecekleri tek kişinin kendileri olduğunu fark ettiklerini bu nedenle, başarılı bir doğumu kolaylaştırmak için hevesle araştırma yaparak hazırladıklarını bildirdikleri saptanmıştır. Ayrıca bu kadınlar gerektiğinde arayabilecekleri ebelerin veya doktorların iletişim bilgilerini kaydettiklerini ve herhangi bir sorun çıkarsa hastaneye gitmenin yollarını ayarlamak gibi yedek planlar yaptıklarını bildirmişlerdir (Shorey ve ark., 2023).

Özgür doğum deneyimi yaşayan kadınların dahil edilen çalışmalarda kadınların özgür doğum yapma niyetini öğrendikten sonra, sağlık çalışanlarının anne adaylarını özgür doğum yapmaktan caydırmak için taktikler kullandıkları bildirilmiştir (Shorey ve ark., 2023). Kadınlar doğum kararlarını kime açıklayacakları konusunda daha dikkatli davranmış ve çoğu zaman bu kararlarını gizli tutmuşlardır. Çünkü özgür doğum yapmanın genellikle başkalarından olumsuz tepkiler alacağını öngörmüşlerdir. Çoğu ebeveyn özgür doğumu güvenli görme eğiliminde olmasına rağmen kadınlar toplumda damgalanmaktadır. Bu durumun özellikle Norveç, İrlanda ve Amerika Birleşik Devletleri gibi doğum bakım hizmetlerinin iyi ve gelişmiş olduğu düşünülen ve annelerin hastanelerde doğum yapmasının beklendiği yüksek gelirli ülkelerde geçerli bir durum olduğu bildirilmiştir (Henriksen ve ark., 2020; Shorey ve ark., 2023).

Ebe ve Hemşireler Konseyi sağlık bakım desteği almadan özgür doğum yapmayı seçtiklerini belirten kadınlara karşı ebelerin sorumluluklarını belirtmişlerdir. Bunlar aşağıdaki maddeleri içermektedir.

1. Kadınlara öncelik verin

- İnsanlara bireyler olarak davranın ve onurlarını koruyun; insanlara nezaket, saygı ve şefkatle davranın.
- İnsanları dinleyin ve tercihlerine ve endişelerine yanıt verin; bir kişinin bakım ve tedaviyi kabul etme veya reddetme hakkına saygı gösterin, destekleyin ve bu durumu belgeleyin.
- Her zaman insanların çıkarları doğrultusunda hareket edin. Bunu kişinin tedaviyi kabul etme veya reddetme hakkına saygı duyma gerekliliğiyle dengelemelisiniz.

2. Güvenliği koruyun

- Yeterliliğinizin sınırlarını tanıyın ve bu sınırlar dahilinde çalışın.
- Uygulama ortamınızda veya başka bir yerde acil bir durum ortaya çıkarsa her zaman yardım teklif edin. Bunu başarmak için şunları yapmalısınız:
 - Acil bir durumda yalnızca bilgi ve yeterlilik sınırlarınız dahilinde hareket edin.
 - Mümkün olduğunda acil bakıma hemen erişimin sağlanması için düzenleme yapın.
- Ebelerin kadınların/insanların ve bakımlarındaki ailelerin güvenliği konusunda endişe duymaları ve üzerlerinde hiçbir kontrolleri olmasa bile sonuçlardan sorumlu hissetmeleri doğaldır.
- Kadınlar ebelerinin tavsiyelerine aykırı bakımı seçme hakkına sahiptir.
- Bir kadın/kişi yardımsız doğum yapmayı seçerse, ebenin bu kararın riskleri hakkında onları bilgilendirme sorumluluğu vardır.
- Güvenlik endişeleri varsa, ebeler yine de sevk için protokolü izlemelidir. Bu özellikle bebek doğduğunda önemli olabilir.
- Ebe, yardımsız doğumun sonucundan sorumlu değildir.
- Bir ebe, yardımsız doğum yapmayı planlayan ancak hastanede doğum yapmanın daha güvenli olacağını düşündüren risk faktörleri olan bir kadına bakıyorsa, ebeye endişelerini ve bakım planını yöneticisiyle görüşme fırsatı sunulmalıdır (Final & Stringer, 2023).

Kadınların özgür doğum tercihleri incelendiğinde aslında en önemli sorunun dünyanın birçok yerinde mevcut ebelik uygulamalarının, ebelik felsefesine uygun olmayan şekilde sürdürülmesidir. Kadınlar gerekli olmadığı durumlarda bile doğum sürecinde birçok müdahaleye maruz kalabiliyor bu da onların ellerinden özerkliklerinin alınmasına, öz yeterliliklerinin azalmasına yol açabiliyor. Benzer şekilde ebelik uygulamalarında çok fazla müdahalenin olduğu ülkemizde de şu anda olmasa bile gelecek için kadınların özgür doğum seçimleri ebelik mesleğinde risk oluşturabilir. Ebeler bir yandan kadının savunucusu olmak

isterken bir yandan kadını, bebeği ve mesleğini riske atmamak adına doğru karar verme konusunda zorda kalabilirler.

Sonuç olarak hastane ve doğum bakımıyla ilgili önceki olumsuz deneyimler özgür doğum tercihinin nedenlerinin başında gelmektedir. Bu nedenle, doğum hizmeti sağlayıcılarının bakım hizmetinin kalitesini iyileştirmeleri, böylece kadınların onurlu, desteklenmiş hissetmeleri ve aldıkları bakıma katılımcı olmaları önemlidir. Özgür doğum tercihinin yaygınlaşmasını önlemek için huzur içinde ve öz kontrollü doğum ortamlarının yaygınlaştırılması önemlidir. Doğumu güvenli kılan şey, doğum sürecine mümkün olduğunca az müdahale edilmesi ve annenin kendini güvende hissetmesi olduğu düşüncesi savunulmalı ve ebeler kadınların savunucusu ve destekçisi olmalıdır. Kadın merkezli ebe liderliğinde bakım modeli yaygınlaştırılmalıdır. Sağlık politikalarının doğum ortamlarının kadını merkeze alınarak çeşitli doğum ortamlarına erişim (örn. ev, hastane, doğum merkezleri) sağlayacak şekilde geliştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- AIMS. (2020). Freebirth , Unassisted Pregnancy and Unassisted Birth.
<https://www.aims.org.uk/pdfs/information/7>
- Brunton, G., Wahab, S., Sheikh, H., & Davis, B. M. (2021). Global stakeholder perspectives of home birth: a systematic scoping review. *Systematic Reviews*, 10(1), 1–18.
<https://doi.org/10.1186/s13643-021-01837-9>
- Dahlen, H. G., Jackson, M., & Stevens, J. (2011). Homebirth, freebirth and doulas: Casualty and consequences of a broken maternity system. *Women and Birth*, 24(1), 47–50.
<https://doi.org/10.1016/j.wombi.2010.11.002>
- Downe, S., Finlayson, K., Oladapo, O., Bonet, M., & Gülmezoglu, A. M. (2018). What matters to women during childbirth: A systematic qualitative review. *PLoS ONE*, 13(4), 1–17.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194906>
- Edwards, N., & Kirkham, M. (2013). Birthing without a Midwife: A Literature Review. *MIDIRS Midwifery Digest*, 23(1), 7–16.
- Feeley, C., Burns, E., Adams, E., & Thomson, G. (2015). Why do some women choose to freebirth? A meta-thematic synthesis, part one. *Evidence Based Midwifery*, 13(1), 4–9.
- Final, V., & Stringer, E. (2023). *Unassisted Birth guideline Contact*.
<https://www.england.nhs.uk/north-west/wp-content/uploads/sites/48/2023/05/GMEC-Unassisted-Birth-guideline-FINAL-V2-April-2023.pdf>

- Henriksen, L., Nordström, M., Nordheim, I., Lundgren, I., & Blix, E. (2020). Norwegian women's motivations and preparations for freebirth—A qualitative study. *Sexual and Reproductive Healthcare*, 25(November 2019), 100511. <https://doi.org/10.1016/j.srhc.2020.100511>
- Hollander, M., de Miranda, E., van Dillen, J., de Graaf, I., Vandenbussche, F., & Holten, L. (2017). Women's motivations for choosing a high risk birth setting against medical advice in the Netherlands: A qualitative analysis. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 17(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12884-017-1621-0>
- Johansson, M., Jansson, O., Lilja, F., Ekéus, C., & Volgsten, H. (2023). Freebirth, the only option for women who do not fit into common practice— A Swedish national interview study. *Sexual and Reproductive Healthcare*, 37(June). <https://doi.org/10.1016/j.srhc.2023.100866>
- Mckenzie, G., Robert, G., & Montgomery, E. (2020). Exploring the conceptualisation and study of freebirthing as a historical and social phenomenon: a meta-narrative review of diverse research traditions. *Medical Humanities*, 46(4), 512–524. <https://doi.org/10.1136/medhum-2019-011786>
- Miller, A. C., & Mississippi, S. (2009). “Midwife to Myself”: Birth Narratives among Women Choosing Unassisted Homebirth *. 79(1), 51–74. <https://doi.org/10.1111/j.1475-682X.2008.00272.x>
- Shorey, S., Jarašiūnaitė-Fedosejeva, G., Akik, B. K., Holopainen, A., Isbir, G. G., Chua, J. S., Wayt, C., Downe, S., & Lalor, J. (2023). Trends and motivations for freebirth: A scoping review. *Birth*, 50(1), 16–31. <https://doi.org/10.1111/birt.12702>
- Velo Higuera, M., Douglas, F., & Kennedy, C. (2024). Exploring women's motivations to freebirth and their experience of maternity care: A systematic qualitative evidence synthesis. *Midwifery*, 134(April), 104022. <https://doi.org/10.1016/j.midw.2024.104022>

YOGA VE NEFES ÇALIŞMALARI İLE OPTİMUM PELVİK TABAN SAĞLIĞINA ULAŞMAK

Dr. Öğr. Üyesi Vasviye EROĞLU

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversite Sağlık Bilimleri Fakültesi Ebelik Bölümü
vasviye.eroglu@gop.edu.tr - 0000-0003-0945-698X

Dr. Öğr. Üyesi Demet Çakır

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversite Sağlık Bilimleri Fakültesi Ebelik Bölümü
demet.cakir@gop.edu.tr - 0000-0003-4794-516X

Öğr. Gör. Arslan SAY

Amasya Üniversitesi, Sabuncuoğlu Şerefeddin Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu
arslan.say@amasya.edu.tr - 0000-0001-5454-3105

Özet

Bu derleme yazısı, pelvik taban fonksiyonunu geliştirmek için farmakolojik olmayan yaklaşım olarak yoga uygulamalarının nefes farkındalığı çalışmalarının entegrasyonunu inceleyerek zihin, beden ve ruh arasındaki bağlantılara odaklanarak bütünsel sağlığa olan ihtiyacı vurgular. Yoga ve nefes çalışmalarının pelvik sağlık üzerindeki etkisiyle ilgili araştırmaların mevcut durumunu tartışır ve pelvik taban farkındalığının ve kontrolünün önemini vurgular. Pelvik fonksiyonu iyileştirmek ve işlev bozukluğunu önlemek için çeşitli egzersizler ve yoga duruşları önerilirken, yoganın pelvik taban için belirli faydalarını ölçmek ve ayırtılandırmak için daha fazla çalışma yapılması gerekliliği vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Pelvik taban, disfonksiyon, yoga, nefes

ACHIEVING OPTIMAL PELVIC FLOOR HEALTH WITH YOGA AND BREATH AWARENESS EXERCISES

Abstract

This review article examines the integration of yoga practices with breath awareness exercises as a nonpharmacological approach to improving pelvic floor function, emphasizing the need for holistic health by focusing on the connections between mind, body, and spirit. It discusses the current state of research on the effects of yoga and breath exercises on pelvic health and emphasizes the importance of pelvic floor awareness and control. While various exercises and yoga postures are recommended to improve pelvic function and prevent dysfunction, it is emphasized that further studies are needed to quantify and elaborate on the specific benefits of yoga for the pelvic floor.

Key words: Pelvic floor, dysfunction, yoga, breathing

1. GİRİŞ

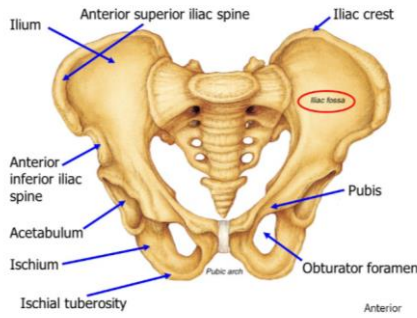
Kadınlar yaşam döngülerinde doğum, menopoz ve yaşlanma gibi süreçlerden geçerler. Bu süreçler pelvik taban üzerinde strese yol açabilir (Bedekar, 2019). Pelvik taban kasları, pelvisin altını kapatan kas grubunu ifade eder, esas olarak levator ani kası, pelvik taban destek dokusunun önemli bir parçasıdır ve esas olarak tip I ve tip II kas liflerinden oluşur. Pelvik taban kasları mesaneyi, uterusu ve rektumu pelvik boşlukta sabitler ve diğer dokularla birlikte çalışır. Üretra, vajina ve rektum pelvik taban dokusundan geçer. Bu nedenle pelvik taban dokusu, uterus, mesane ve rektum gibi pelvik organları desteklemekte ve kadın boşaltımını, üremesini ve cinsel işlevleri sürdürmede hayati bir rol oynamaktadır (Li, 2022).

Pelvik Taban İşlevi

Pelvik taban, hem mecazi hem de fiziksel olarak fiziksel bedenin kökü olarak kabul edilir. "Pelvik taban" genellikle dik hareket kabiliyeti ve desteği sağlayan kas-iskelet sistemini tanımlar. Bu sistem, üreme, boşaltma ve dışkılama organlarını korur ve destekler. Pelvik tabandaki kasların düzgün çalışması, düzgün duruş hizalaması, omurga hareketi ve solunumun desteklenmesi üzerinde etkilidir. Çok sıkı bir pelvik taban, pelvik ağrıya, rektal spazm ve kabızlığa ve cinsel işlev bozukluğuna yol açabilir ve ayrıca fiziksel hareketliliği sınırlayabilir. Çok gevşek kaslar, idrar ve/veya bağırsak inkontinansı ve pelvik organ sarkması sorunlarına

neden olabilir. Şekil 1 kişinin pelvik pozisyonunun kinestetik farkındalığının odak noktası olan kemik pelvis içindeki yapıları göstermektedir. Anterior superior iliac kemikler, bel çizgisinin hemen altındaki kemiksi çıkıntılardır ve bir bireyin pelvisin eğimini bulmasına ve nötr bir pelvisin nasıl oluşturulacağını belirlemesine yardımcı olabilir. Zihinsel imgeleme kullanmak, pelvisin yönelimini anlamak için etkili bir yoldur. Pelvis suyla dolu bir kase olarak görselleştirilirse, öne (pelvik ön) veya arkaya (pelvik arka) eğmek, suyu kaseden dışarı atar. Pelvisin eğilmesi olmadığında, nötr bir pelvis elde edilir (Tenfelde, 2014).

Sakrum bir diğer kritik dönüm noktasıdır. Omurganın tabanında bulunan bu düz kemik, üstte geniştir ve kuyruk sokumuna doğru daralır. İskeal tüberoziteler (oturma kemikleri) ayakta dururken gluteus maximus tarafından örtülür. Ancak oturma pozisyonunda, zemine temas ederek bir topraklama hissi teşvik eder. Bir kişi zihnini ve dikkatini bu alana odaklayabildiğinde ve pelvik eğim hareketlerini yapabildiğinde, pelvisin kaslarını içeren daha derin, daha incelikli çalışma başlayabilir (Tenfelde, 2014).



Kaynak: <https://oncetus.com/sozluk/anterior-superior-iliyak-cikinti/>

Pelvik Taban Disfonksiyonu

Kadın pelvik taban disfonksiyonu çok sık görülen, kadınların fiziksel, ruhsal sağlığını ve yaşam kalitesini etkileyen önemli bir halk sağlığı sorunudur (Li, 2022). Bir çalışmada dünya çapında idrar inkontinansından etkilenen kişi sayısı bir ülke olarak temsil edilseydi, bu ABD nüfusuna yaklaşık dünyanın en büyük üçüncü ülkesi olurdu benzetmesi yapılmıştır (Kennaway, 2023). Pelvik taban kasları doğum, kabızlık, inatçı öksürük nedeniyle veya menopoza döneminde zayıflayabilir ve pelvik taban disfonksiyonuna neden olabilir (Churches, 2024). Pelvik taban disfonksiyonu, mesane ve bağırsak inkontinansı, pelvik organ prolapsusu (POP), değişmiş duyuşal işlev ve boşaltma anormallikleri, cinsel işlev bozukluğu ve mesane ağrısı gibi bir dizi durumu içermektedir (Kennaway, 2023). Bazı kadınlar öksürme, hapsirme, gülme, egzersiz yapma, eşya kaldırma ve spor yapma gibi aktiviteler sırasında idrar kaçırmaya

yaşamaktadır. Buna stres inkontinansı denir. Pelvik taban kasları bu zamanlarda artan karın içi basıncına yeterince direnç gösteremez. Bazen de birey aniden idrar yapma isteği duyar ancak tuvalete yetişmeden idrar kaçırabilir. Buna sıkışma inkontinansı denir. Bu ikisinin beraber olduğu inkontinans şekline ise mikst inkontinans denir (Li, 2022). İnkontinans bir hastalık değil, mesane, sfinkter mekanizması veya pelvik taban kaslarındaki hasara bağlı bir semptomdur. Özellikle premenepoz ve menopoz dönemindeki kadınların hem fiziksel hem de ruhsal sağlıklarını ve yaşam kalitesini ciddi şekilde etkilemektedir (Purba, 2021). Birçok yetişkin kadın inkontinans deneyimlese de, çoğu sağlık hizmeti arama eğiliminde değildir çünkü idrar inkontinansı doğum ve yaşlanmanın doğal bir sonucu olarak görülür ve ciddi bir sağlık sorunu olarak görülmez (Kim, et. al. 2015).

Pelvik taban disfonksiyonunda inkontinans dışında pelvik organ sarkması, pelvik ağrı, fekal inkontinans ve cinsel işlev bozukluğu gibi bir dizi semptom gözlenebilir (Li, 2022). Bu nedenle, mesane ve bağırsakları daha iyi kontrol etmek, pelvik organların desteğini iyileştirmek ve cinsel işlevi geliştirmek için pelvik tabanı güçlendirmek önemlidir. Pelvik taban kaslarını çalıştırmak yukarıdaki tüm durumlarda faydalıdır (Doğan vd., 2022).

Yoganın Pelvik Taban Sağlığına Etkisi

Günümüzde pelvik taban rehabilitasyon yöntemleri arasında manuel masaj, pelvik taban kas egzersizi (Kegel egzersizi), vajinal dambıl destekli pelvik taban kas eğitimi, elektriksel stimülasyon tedavisi ve biyolojik geribildirim tedavisiyle birleştirilmiş elektriksel stimülasyon ve yoga gibi tedaviye destek alternatif yöntemler yer almaktadır (Li, 2022).

Fiziksel, zihinsel, duygusal denge sağlık için odaklanması gereken en önemli noktadır. Yoga, zihin, beden ve ruhun bütünleşmesini teşvik eden yüzyıllardır var olan spordan çok daha öte bir yaşam felsefesidir (Tenfelde, 2014). Milattan önce beş bin yıl öncesine dayanan bu felsefe Hindistan'da ortaya çıkmıştır (Blagg & Bolgla, 2023). Fiziksel etkilerinin yanı sıra stres ve kaygı azaltıcı, ruh halini iyileştirici, refah düzeyini artırıcı, kilo kontrolü sağlayıcı özelliklerinden dolayı giderek daha fazla tanınan ve kullanılan bir zihin-beden pratiği haline gelmiştir (Blagg & Bolgla, 2023; Yurtsal & Eroğlu, 2019). Son yıllarda özellikle doğum sonrası pelvik taban rehabilitasyonuna daha fazla dikkat çekilmekte ve yoganın bu rehabilitasyondaki avantajları ortaya konmaktadır. Yoga kasların ve pelvik taban bağlarını güçlendirerek pelvik taban kaslarının tonusunu ve bütünlüğünü artırır. Doğum sonrası pelvik taban rehabilitasyonunda yoga egzersizini kullanan kişilerin sayısı da gün geçtikçe artmaktadır (Blagg & Bolgla, 2023). Gebelik ve doğum sırasında pelvik taban kasları ve fasya aşırı gerilir, vajinal doğum sürecinde forseps ve diğer cihazların kullanımı, doğum sonrası kadınlarda

hormon seviyelerindeki değişiklikler pelvik taban kas liflerinde çeşitli derecelerde hasara neden olur ve bunun sonucunda pelvik taban fonksiyonu bozulur. (Li, 2022).

Sağlığın sadece fiziksel bir sistem olarak görölerek tedavi edildiği tıbbi bir modelin aksine, yoga, bireyi bir bütün halinde ele alarak kişiyeye odaklanmayı gerektirir. Zihin-beden pratikleri, bütünsel sağlık için etkili olmaktadır. Yoganın fiziksel, zihinsel ve ruhsal sağlık için farmakolojik olmayan faydalarına ilişkin literatürde oldukça fazla sayıda yayın bulunmaktadır. Yoga, nefes teknikleri, görsel imgeleme, meditasyon ve vücudun fiziksel hareketleriyle bir bütünlük içerir. Yoga, pelvik taban sağlığını destekleyebilir ve uzun vadeli pelvik taban işlev bozukluğunu önleyebilir veya en aza indirebilir (Tenfelde, 2014). Yoga fiziksel uygulamayı zihinsel farkındalıkla birleştirir. Esneklik ve elde edilen hareketliliği kontrol etmek için denge kazandırır. Yoga duruşları (asanaları), omurga segmentleri dahil olmak üzere tüm ekstremiteler segmentlerini birbirine bağlayan çeşitli duruşlardır. Örneğin: Gomukhasana, ardhamatsyendrasana, ardha-badhakonasana. Bunlar, kadınlar için hayati önem taşıyan otonomik işlevi uyaran omurga hareketliliği ve rotator bileşenleri üzerinde etkilidir (Bedekar, 2019).



Gomukhasana



Ardhamatsyendrasana



Ardhabadhakonasana

Kaynak: <https://insideyoga.org>

Çeşitli Yoga duruşlarının kombinasyonu kadınlarda güç, dayanıklılık ve vücut kompozisyonunun geliştirilmesini sağlamaktadır. Ardışık bir dizi yoga duruşunun nefesle koordinasyonlu şekilde uygulanmasının kardiyovasküler işlevleri iyileştirmede etkili olduğu bulunmuştur (Li, 2022). Yakın zamanda yapılan başka bir pilot çalışmada pelvik tabanın MR görüntülemesi, üretra ve idrar sfinkterinin yer değiştirme ilişkisinin, hastaların önemli bir kısmında üriner inkontinas semptomlarına sebep olan temel bir mekanizma olduğu hipotezini ve belirli yoga pozları kullanıldığında yer çekiminin de üretra üzerinde önemli bir anatomik etki uyguladığını ileri sürmektedir (Stothers & Macnab, 2022).

Yapılan bir çalışmada pelvik taban kaslarını güçlendirmek için gövde ekstansörlerini, gövde rotatörlerini, hamstringleri, quadricepsleri ve baldır kaslarını hedef alan yoga pozları (ellerin kenetlendiği ön plank, modifiye edilmiş yan plank, yan açı (angle) ve kolların öne doğru

olduğu çekirge (locust)) ele alınmıştır. Bu pozlarda kadınların EMG'si çekilerek hareketlerin pelvik tabanı güçlendirmede etkili olduğu sonucuna varılmıştır (Blagg & Bolgla, 2023).



Menopoz döneminde yapılan yoganın kadınların inkontinans semptomlarında iyileşme ile pozitif korelasyon göstermiş olduğu ve inkontinans ile ilişkili yaşam kalitesini iyileştirdiği saptanmıştır (Kim vd., 2015).

Nefes Farkındalığı (Pranayama) Çalışmalarının Pelvik Taban Sağlığına Etkisi

Ağır fiziksel aktivite ve ani basınçlı hareketler pelvik tabanı zorlayabilir ve tekrar tekrar yapılırsa, yüksek karın içi basıncının korunmamış pelvik taban kaslarını etkiler. İspirasyon veya nefes tutma sırasında yapıldığında ise pelvik taban disfonksiyonuna neden olabilir (Talas vd., 2022). Pelvik taban kaslarının solunumda karın içi basıncın oluşumunda kilit bir rol oynadığı ve birincil ekspiratuvar kas olarak görev yaptığı bildirilmektedir (Gordon & Reed, 2020). Literatürde, idrar inkontinansı ve pelvik organ prolapsusunu önlemek ve tedavi etmek amacıyla pelvik taban kas eğitimi ile birlikte nefes egzersizlerinin önerilmesi gerektiği ileri sürülmektedir (Kari vd., 2023). Nefes farkındalığı çalışmalarının sağlık sorunlarının tedavisinde alternatif bir müdahale olarak önemini vurgulayan çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır (Bedekar, 2019). Bazı yazarlar pelvik taban kaslarının solunum fonksiyonu için önemli olduğunu ve efor sırasında nefesi inspiratuvar bir düzende tutmanın pelvik taban kaslarına stres uyguladığını ve pelvik taban disfonksiyonuna neden olabileceğini iddia etmektedir (Talas vd., 2022). Toprak ve ark. (2022) diyafram solunumu egzersizleri yaparak pelvik taban fonksiyonunun iyileştirilebileceğini, bunun da diyafram ve pelvik taban kasları arasındaki bağlantı yoluyla dolaylı olarak sağlanabileceğini ve idrar kaçırmanın

azaltılabileceğini öne sürmüşlerdir (Toprak vd., 2022). Diğer taraftan solunum fonksiyonlarının geliştirilmesinde de pelvik taban kasların önemli bir rol oynadığı vurgulanmaktadır. Yapılan bir çalışmada pelvik taban kasıldığında diyafragma hareketinde ve solunum fonksiyonunda anlamlı bir değişiklik olduğu ortaya çıkarılmıştır. Pelvik taban kaslarının kasılması sırasında solunum çok daha etkili olduğu saptanmıştır. Bu nedenle pelvik taban kaslarını güçlendirme egzersizleri solunum rehabilitasyonuna dahil edilmelidir sonucuna varılmıştır (Park & Han, 2015).

Huang ve arkadaşları, derin nefes alma ve bilinçli gevşemeyi içeren yoga uygulamasının kaygıyı ve stresi azaltılabileceğini ve bunun da sinirsel sinyalleri yeniden programlamaya yardımcı olabileceğini belirtmişlerdir (Huang vd., 2019). Aşağıda pelvik taban kaslarını rahatlatan bir nefes tekniği anlatılmıştır.

- Sırt üstü uzanılır, dizler 1-3 yastık veya bir sandalyenin üzerinde bükülü olacak şekilde yerleştirilir.
- Eller aşağıda gösterildiği gibi pelvik bölgeye yerleştirilir.



Kaynak: <https://cumming.ucalgary.ca>.

- Havayı alt göğüs ve/veya karın üzerine doldurmak için yavaşça ancak derin bir nefes alınır.
- Kaburgaların yanlara doğru dışarı doğru hareket ettiği ve karının yavaşça öne doğru yükseldiği hissedilir.
- Karın bilinçli olarak dışarı itmeye çalışılmamalıdır. Üst göğüs, karından daha az hareketle gevşetilmelidir.
- Alınan nefes 2-3 saniye tutulduktan sonra yine burundan yavaşça verilir ve alt göğsün ve karının dinlenme pozisyonuna geri çöktüğü hissedilir.

Not: Hiperventilasyon olabileceği için, bu egzersizler sırasında veya sonrasında baş dönmesi veya sersemlik hissedilebilir. Bu nedenle, bir seferde birkaç tekrar yapıp nefes çalışması gün boyunca tekrarlayacak şekilde güne yayılabilir (CPC, 2018).

Nefes teknikleri akciğer faydalarından daha fazlasını kapsamaktadır. Nadi Shodhana nefesi akciğer kapasitesini, gaz değişimini artırmada, solunum hızını/hiperventilasyonunu, depresyon, stres ve anksiyeteyi azaltmada etkili olduğu sonucuna varmıştır (Rajesh Shah & Hardik Kothari, 2019). Aşağıda Nadi Shodhana Nefesi'nin uygulama basamakları anlatılmıştır.

Nadi Shodhana Nefesi (Dönüşümlü Burun Nefesi):

- Sağ elin işaret ve orta parmakları kaşların arasına yerleştirilir. Baş parmak ile sağ burun deliği, yüzük parmağı ise sol burun üzerine yerleştirilir ama burun delikleri kapatılmaz.
- Derin bir nefes alınır ve her iki burundan sakın ve aldığı daha uzun sürede olacak şekilde sakince nefes verilir.
- Sağ burun deliği baş parmak ile kapatılır ve sol burun deliği ile nefes alınır. Sol burun deliği yüzük parmağı ile kapatılır, sağ burun deliği açılır ve sağ taraftan nefes verilir.
- Sağ burun deliğinden nefes almadan önce nefes vermenin sonunda kısa bir duraklama yapılır. Sağ burun deliğinden derin ve uzun bir nefes alınır, başparmak ile sağ tarafı kapatılır, sol burun deliği açılır ve sol taraftan nefes verilir. Böylece tam bir döngü tamamlanmış olur. Aynı nefes döngüsü 2-5 dakika kadar uygulanır.

Sonuç olarak yoga ve nefes çalışmalarının öz bakımın bir parçası olarak evde uygulanabilme, uygulama sırasında asgari ekipman gerektirme veya online bir ortamda bakımın bir parçası olarak yönlendirildiğinde uygulanabilme gibi avantajları bulunmaktadır. Bu nedenlerden dolayı nefes farkındalıklı yoga çalışmaları, ekonomik koşullar arasında yüksek derecede uygulanabilirliğe sahiptir (Goodwin vd., 2024).

KAYNAKLAR

- Bedekar, N. (2019). Yoga for Lumbo-Pelvic Stability and Function in Women's' Health –Need for Combined Approach with Physiotherapy. *Journal of Yoga and Physiotherapy*, 8(8), 122–124. <https://doi.org/10.19080/jyp.2019.08.555730>
- Blagg, M., & Bolgla, L. (2023). The relative activation of pelvic floor muscles during selected yoga poses. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 52(January), 101768. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2023.101768>
- Churches, J. (2024). Pelvic floor muscle exercises. *The Urinary Sphincter*, June, 443–458. <https://doi.org/10.1007/bf01923387>
- CPC. (2018). Diaphragmatic Breathing with pelvic floor relaxation. Chronic Pain Center. <https://cumming.ucalgary.ca>.

- Doğan, H., Özengin, N., & Semra, E. (2022). Farklı üriner inkontinans tiplerinde hasta özellikleri, üriner inkontinans davranışları ve yaşam kalitesinin karşılaştırılması. *Journal of Exercise Therapy and Rehabilitation*, 9(3), 189–195. <https://doi.org/10.15437/jetr.1052568>
- Goodwin, A., Stothers, L., & Macnab, A. (2024). Pelvic Floor Muscle Dysfunction, Exercise, and Yoga: Insights from Advances in Imaging and Spectroscopy. İçinde *Intech Open* (C. 11, Sayı tourism, s. 13). <https://doi.org/DOI: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.115555>
- Gordon KE., Reed, O. (2020). The Role of the Pelvic Floor in Respiration: A Multidisciplinary Literature Review. *Journal of Voice*. 34 (2): 243-249.
- Huang, A., Margaret, C., Nadra, L., Eric, V., Michael, S., Sarah, P., Amy, H., & Leslee, S. (2019). A Group-Based Yoga Program for Urinary Incontinence in Ambulatory Women: Feasibility, Tolerability, and Change in Incontinence Frequency over Three Months in a Single-Center Randomized Trial. *Am J Obstet Gynecol.*, 220(1), 87. <https://doi.org/10.1177/0022146515594631.Marriage>
- Kari, B., Driusso, P., & Jorge, C. H. (2023). Can you breathe yourself to a better pelvic floor? A systematic review. *Neurourology and Urodynamics*, 42(6), 1261–1279. <https://doi.org/10.1002/nau.25218>
- Kennaway, B. (2023). Pelvic health physiotherapy for the management of pelvic floor dysfunction in the recreationally active female. *Journal of Pelvic, Obstetric and Gynaecological Physiotherapy*, 131(October 2022), 33–41.
- Kim, G. S., Kim, E. G., Shin, K. Y., Choo, H. J., & Kim, M. J. (2015). *Combined pelvic muscle exercise and yoga program for urinary incontinence in middle-aged women*. 330–339. <https://doi.org/10.1111/jjns.12072>
- Li, Q. (2022). The Effects of Yoga Exercise on Pelvic Floor Rehabilitation of Postpartum Women. *Journal of Healthcare Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/1924232>
- Park, H., & Han, D. (2015). The effect of the correlation between the contraction of the pelvic floor muscles and diaphragmatic motion during breathing. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(7), 2113–2115. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.2113>

- Purba, J. (2021). Effectiveness of Pelvic Floor Muscle Training and Yoga on the Quality of Life in Perimenopausal Women with Urinary Incontinence. *Nurse Media Journal of Nursing*, 11(1): 85-93.
- Rajesh Shah, M., & Hardik Kothari, P. (2019). Effects of Nadi-Shodhana Pranayama on Depression, Anxiety, Stress and Peak Expiratory Flow Rate in Post CABG Patients: Experimental Study. *International Journal of Health Sciences & Research* (www.ijhsr.org), 9(10), 40. www.ijhsr.org
- Stothers, L., & Macnab, A. (2022). Pd38-10 Upright Open Mri With Standing Yoga Poses Indicates That Postural Effects on the Bladder Neck and Urethra Occur Relevant To Female Urinary Incontinence. *Journal of Urology*, 207(Supplement 5), 2022. <https://doi.org/10.1097/ju.0000000000002596.10>
- Talasz, H., Kremser, C., Talasz, H. J., Kofler, M., & Rudisch, A. (2022). Breathing, (S)Training and the Pelvic Floor—A Basic Concept. *Healthcare (Switzerland)*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/healthcare10061035>
- Tenfelde, S. (2014). Yoga for the Pelvic Floor. İçinde *Retrieved from Loyola eCommons, Nursing: School of Nursing Faculty Publications and Other Works*.
- Toprak, N., Sen, S., & Yigit, B. (2022). The role of diaphragmatic breathing exercise on urinary incontinence treatment: A pilot study. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 29, 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2021.10.002>
- Yurtsal, Z. B., & Eroğlu, V. (2019). Gebe Kadınların Gebelikte Yoganın Faydaları Hakkındaki Bilgi ve Görüşleri. *Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*. <https://doi.org/10.32708/uutfd.622187>

TIP 2 DİYABET HASTALARI İÇİN FONKSİYONEL ATIŞTIRMALIK ÜRETİMİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Mervenur Gökmen¹

Kastamonu Üniversitesi,
dyt.mervegokmen@gmail.com - 0009-0008-3769-580X

Diyetisyen Nilso Bulut²

dyt.nilsbulut@gmail.com - 0009-0000-6152-456X

Dr. Öğr. Üyesi Zehra Gülsünoğlu Konuşkan³

İstanbul Aydın Üniversitesi,
zehragulsunoglu@aydin.edu.tr - 0000-0001-6497-1912

ÖZET

Diyabet tüm dünya genelinde bir halk sağlığı sorunudur. Ülkemizde prevalansı giderek artmaktadır. Tip 2 diyabet insülin eksikliği ve insülin direnci ile oluşan ve hiperglisemi ile karakterize bir diyabet tipidir. Hiperglisemi pankreas β hücre fonksiyonlarının bozulmasına ve insülin direncinin artmasına sebep olmaktadır. Diyabetin önlenmesi ve tedavisi için yaşam tarzı değişiklikleri, fiziksel aktivite ve beslenme alışkanlıklarının düzenlenmesi gerekmektedir. Hastalığın temel tedavisini beslenme oluşturmaktadır. Günümüzde tüketicilerin temiz içerikli ürünlere olan talebinin artması nedeniyle ürün formülasyonlarında basit şeker yerine doğal tatlandırıcıların kullanıldığı ürünler geliştirilmektedir. Çinkonun diyabetli bireylerin metabolizmasında önemli bir yere sahip olduğu araştırmalarca bildirilmektedir. Kabak çekirdeği çinkodan zengin besinler arasındadır. Karnıyarık otu tohumu tozunun yüksek lif içermesi vücudun glisemik kontrolünde etkilidir ve gıdalarda kullanımı geliştirilmektedir. Antioksidanca zengin çilek düşük glisemik indekste bir meyve olduğu için diyabetli bireylerin kan şekerinin ani yükselmesine sebep olmamaktadır. Tarçın insülin duyarlılığını arttırmakta ve kan şekerinin dengelenmesine yardımcı olmaktadır. Bu kapsamda diyabetli bireyler için özellikle çinko içeriği yüksek kabak çekirdeği sütü, karnıyarık otu tohumu tozu, tarçın ve çilek içerikli fonksiyonel bir atıştırmalık üretimi amaçlanmaktadır. Üretilen atıştırmalık örneklerine doğal tatlandırıcılardan olan agave şurubu ve akçağaç şurubu ayrı olarak eklenerek renk analizi, duyu analizi ve kimyasal analizler yapılmıştır. Duyusal analiz sonucunda örnekler arasında anlamlı bir farklılık bulunmamakla birlikte genel beğeni akçağaç şuruplu örnek yönünde olmuştur. Bu çalışma sonucunda diyabet hastaları için fonksiyonel alternatif bir ürün üretilebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tip 2 diyabet, çinko, fonksiyonel gıda, psyllium

1. GİRİŞ

Günümüzde diyabet prevalansı giderek artan kronik bir halk sağlığı sorunudur (Turan vd., 2015; Özer, 2019). Tip 2 diyabet; hiperglisemi, insülin eksikliği ve insülin direnci ile karakterize olan diyabet tipidir (Turan vd., 2015; Gök, 2023). Hiperglisemi; pankreas β hücre fonksiyonlarının bozulmasına ve insülin direncinin artmasına neden olur (Karagöz, 2024). Poliüri, polidipsi, polifaji, noktüri, ağız kuruluğu, halsizlik ve çabuk yorulma Tip 2 diyabetin semptomlarından (Haydar vd., 2024). Diyabetin önlenmesi ve tedavisi için yaşam tarzı değişiklikleri, fiziksel aktivite ve beslenme alışkanlıklarının düzenlenmesi gerekmektedir (Kul vd., 2023). Tip 2 diyabet hastalarında medikal tedavinin yanı sıra tıbbi beslenme tedavisi de önemlidir (Tümer vd., 2012; Bulutlar, 2015). Tıbbi beslenme tedavisinin amacı kan glukoz seviyelerinin kontrolünü sağlamaktır (Tümer vd., 2012; Özelgün, 2017).

Beslenmeye bağlı olarak besin takviyelerinin de önemli bir yeri vardır (Sorgeç, 2019). Tip 2 diyabet hastalarında çinko takviyesinin, insülin ve C peptid düzeylerini artırarak, glisemik kontrolü iyileştirebileceği bildirilmektedir (Gizlici vd., 2019; Erdoğan, 2023). Ayrıca çinko bağışıklık fonksiyonunun sürdürülmesi için önemli olan temel eser elementlerden biridir. Kabak çekirdeği çinkodan zengindir (Bayram, 2020; Güngör vd., 2021; Genç vd., 2022) ve yağlı tohumlu gıdalar arasındadır. Yağlı tohumların kan şekeri seviyelerinin kontrolünü sağlayarak Tip 2 diyabetin önlenmesinde yardımcı olabileceği düşünülmektedir (Çelik vd., 2013). Bu sebeple, proje kapsamında geliştirilecek olan üründe çinkodan zengin çiğ kabak çekirdeği sütü kullanılacaktır.

Karnıyarık otu tohumu tozu, içerdiği yüksek lifler sayesinde insülin ve kan şekeri seviyelerini düzenlemeye yardımcı olur. Ayrıca vücudun glisemik tepkisini kontrol altına almaya yardımcı olmasından dolayı “süper gıda” olarak bilinir (Çetiner vd., 2018; Güzeldere, 2022). Karnıyarık tohumu karbonhidrat absorpsiyonunu engelleyici özelliğe sahiptir. Araştırmalara göre karnıyarık otu tüketiminin tokluk kan şekerini % 14-20 oranında düşürdüğü gözlenmiştir (Orhan vd., 2010).

Antioksidan ve vitamince zengin çilek düşük glisemik indekse sahiptir. Bu sayede özellikle diyabetli bireylerin kan şekerinin ani sıçramasına sebep olmaz, kan şekerini dengeleyerek tokluk süresini uzatır (Bayram vd., 2013). Çilek yüksek antosiyanin bakımından zengin meyveler arasındadır. Yapılan çalışmalarda antosiyanin alımının insülin duyarlılığını artırdığı ve kan şekeri seviyelerinin yükselmesini önlediği gözlenmiştir (Afacan vd., 2020). Ayrıca çilek epikateşin ve resveratrol fitokimyasallarını içermektedir (Erdoğan, 2022; Soykurt vd., 2024). Bu fitokimyasallar anti-aging özelliktedirler, Tip 2 diyabet olmak üzere kardiyovasküler hastalıklar, alzheimer ve kanserin önlenmesinde etkililerdir (Soykurt vd., 2024).

Tarçın antidiyabetik, antihiperlipidemik, antiobezite, antioksidan, antimikrobiyal, antienflamatuar ve vazodilatör etkileri dahil olmak üzere birçok farmakolojik etkiye sahiptir (İşcan vd., 2022; Pak vd., 2023). Kan şekerini dengelemeye ve düşürülmesine yardımcıdır. İnsüline duyarlılığı artırır, reseptörlerin hassasiyetini artırarak insüline yanıt verilmesini sağlar. İnsülin duyarlılığının artmasıyla birlikte şeker seviyeleri normale döner (Orhan vd., 2010; Çiçekli, 2023; Pak vd., 2023). Yapılan bir çalışmada tarçın kullanımının açlık kan şekeri ve HOMO-IR değerlerinde azalma sağladığı bildirilmiştir (Bellikci-Koyu vd., 2021). Tarçının

yapısında bulunan metil hidroksil kalkon polimeri (MHKP) insüline benzeyen etkiler göstermektedir, kan glukoz seviyelerini azalttığı saptanmıştır. Ayrıca yapılan diğer çalışmalarda HbA1c düzeylerini azalttığı bildirilmiştir (Arslan, 2024).

Fazla şeker tüketimi başta diyabet olmak üzere çeşitli sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Buna bağlı olarak tatlandırıcılar düşük glisemik indeks ve düşük kalori değerleri nedeniyle şeker ikamesi olarak kullanılmaktadır (İşgören vd., 2019; Aydın vd., 2022). Tatlandırıcılar; doğal tatlandırıcılar ve yapay tatlandırıcılar olarak sınıflandırılırlar. Doğal tatlandırıcılar, bitkilerin çiçek, yaprak, kök ve kabukları gibi doğal bölümlerinden elde edilirler. Akçaağaç şurubu, agave şurubu, keçiboynuzu şurubu en çok bilinen geleneksel doğal tatlandırıcılardandır (İşgören vd., 2019; Muslu vd., 2020). Yapay tatlandırıcıların kalorisi ve glisemik indeksi sifıra yakın, tatlandırma gücü yüksektir. Ancak son çalışmalar yapay tatlandırıcı tüketiminin TİP 2 diyabet gelişimine, insülin direncine ve glukoz intoleransına neden olabileceğini göstermektedir. Sağlık üzerine etkileri hakkında çalışmalar yetersizdir (Pehlivan vd., 2020; Aydın vd., 2022; Mızrak vd., 2024).

Belirtilen sebeplerle diyabet hastaları için geliştirilmek istenen yeni fonksiyonel atıştırıcılık üretiminde çığ kabak çekirdeği sütü, karnıyarık otu tohumu tozu, çilek ve tarçın kullanılacaktır. Şeker ikamesi olarak agave şurubu ve akçaağaç şurubu kullanılacaktır. İçeriğindeki nem miktarını azaltmak ve daha uzun süre raf ömrüne sahip bir ürün elde etmek için şekil verilen karışım liyofilize edilerek kurutulacaktır. Ayrıca liyofilizasyon yönteminde uygulanan düşük sıcaklık uygulaması ile üründeki besin değerlerinin maksimum düzeyde korunması hedeflenmektedir. Bu sayede diyabet hastaları için yeni fonksiyonel bir ürün geliştirilerek toplumsal sağlığa fayda sağlanması amaçlanmaktadır.

2. UYGULAMALAR

2.1. Materyal

Üretimde kullanılan çığ kabak çekirdeği (%11 karbonhidrat, %33 protein, %56 yağ, %8,8 lif) Antep yolu Kuruyemiş satıcısından, Karnıyarık otu tozu (%96 karbonhidrat, %3 protein, %1 yağ, %77 lif) ve seylon tarçın (%94 karbonhidrat, %5 protein, %1 yağ, %53 lif) Wefood satıcısından, agave şurubu (%100 karbonhidrat, %0 protein, %0 yağ, %5,7 lif) TheLifeCo satıcısından temin edilmiştir. Taze çilek (% 89 karbonhidrat, %8 protein, % 3 yağ, %2 lif) Babaoğlu Ticaret meyve sebze toptancısından satın alınmıştır. Akçaağaç şurubu (%100 karbonhidrat, %0 protein, %0 yağ, %0 lif) Vermont markasından temin edilmiştir.

2.2. Yöntem

Ön denemeler sonucunda belirlenen formülasyonlar ve üretim şekli şu şekildedir; çığ kabak çekirdekleri 12 saat suda bekletilip 1 L su ile blend edilmiştir. Posası süzgeç yardımıyla süzülerek kabak çekirdeği sütü elde edilmiştir. Kabak çekirdeği sütü 70-80°de ortalama 1 dk ısıtılıp içerisine karnıyarık otu tozu eklenmiştir ve homojen kıvam alana kadar karıştırılmıştır. Çilekler blendırdan geçirilip karışımın içerisine tarçınla birlikte eklenmiştir. Tüm karışım homojen kıvam alana kadar karıştırılmıştır. Karışım 2 eşit gramaja bölünmüş ve agave şurubu ile akçaağaç şurubu ilaveli atıştırıcılıklar hazırlanmıştır. Akçaağaç şuruplu ve agave şuruplu örneklerin üretim reçetesi Çizelge 1'de, üretim basamakları ise Görsel 1'de verilmiştir.

Karışımlar tek kullanımlık tabaklara dökülerek -18°C 'de 24 saat dondurulmuştur. Donan akçaağaç şuruplu ve ageve şuruplu örnekler 36 saat liyofilize edilmiştir. Daha sonra duyu analizi için küpler halinde kesilmiştir. Kimyasal analizler ve renk analizi için örnekler -18°C 'de muhafaza edilmiştir.

Çizelge 1. Üretim Reçeteleri

Hammaddeler	Agave Şuruplu Örnek	Akçaağaç Şuruplu Örnek
Agave Şurubu	40 g	-
Akçaağaç Şurubu	-	15 g
Tarçın	5 g	5 g
Karnıyarık Otu Tozu	15 g	15 g
Çilek	212 g	212 g
Kabak Çekirdeği Sütü	85 g	85 g



Görsel 1. Üretim Basamakları

2.2.1. Kimyasal Analiz Yöntemleri

Çalışmada üretilen örneklere aşağıda belirtilen analizler uygulanmıştır.

Nem analizi: Örneklerin nem analizi gravimetrik olarak belirlenmiştir. 5 g örnek 105°C 'de sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Sonuçlar yüzde cinsinden verilmiştir (AOAC, 2000).

Kül analizi: Örneklerin kül miktarları gravimetrik olarak belirlenmiştir. 3 g örnek yakma krozelerine tartılmış ve yakma fırınında 550°C’de 5 saat yakılmıştır. Yakma işlemi tamamlanan örnekler desikatörde soğutulduktan sonra ağırlıkları kaydedilmiş ve sonuçlar yüzde kül cinsinden verilmiştir (AOAC, 2000).

Toplam yağ analizi: Örneklerin yağ miktarı Soxhlet cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Yağ analizi öncesi örneklerin nemi uzaklaştırılmış ve 5 g örnek tartılarak Soxhlet cihazında petrol eteri ilavesi ile ekstrakte edilmiş ve daha sonra çözgen bir döner buharlaştırıcı yardımıyla uzaklaştırılarak, örneklerdeki yağ miktarı belirlenmiştir. Sonuçlar yüzde yağ cinsinden verilmiştir (AOAC, 2000).

Toplam protein analizi: Örneklerin toplam protein analizi Kjeldahl metoduna göre belirlenmiştir. Yakma tüplerine 4 g örnek, 12 g K₂SO₄, 0.3 g CuSO₄.5H₂O ilave edildikten sonra, 25 mL H₂SO₄ eklenerek 450°C’de yakma işlemi tamamlanuncaya kadar devam edilmiştir. Yakma işlemi biten örnekler, 100 mL %40’lık NaOH ile distile edilmiş ve distilat 50 mL borik asit (%4’lük) içeren erlende toplanmıştır. Titrasyon işlemi ile toplam protein miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (AOAC, 2000).

$$\% TP = [(V_t - V_0) \times N \times 14 \times 6.25 \times 100] / (w \times 1000)$$

Karbonhidrat analizi: Örneklerin belirlenen yağ, nem, kül ve protein değerlerinin toplamının 100’den çıkarılması ile hesaplanmıştır (Gülsünoğlu vd., 2019b).

2.2.2. Renk Analizi

Renk analizi Minolta renk ölçüm cihazı kullanılarak yapılmış ve L*, a* ve b* değerleri belirlenmiştir. Öğütülmüş örnekler petri kapları içine alınmış ve renk ölçümleri yapılmıştır. L* değeri 100 ise beyazı, 0 ise siyahı tanımlarken, pozitif a* kırmızı, negatif a* ise yeşili temsil etmektedir. Pozitif b* sarı rengi belirtirken, negatif b* ise mavi rengi belirtmektedir (Cingöz vd., 2022).

2.2.3. Duyusal Analiz

Örnekler 5’li hedonik skala kullanılarak 28 panelist grubu tarafından değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Bu amaçla örneklerin renk, koku, tat, gevreklik ve genel beğeni özellikleri açısından değerlendirilmiş ve sonuçlar ortalama puanlar üzerinden verilmiştir.

2.3.4. İstatiksel Analiz

Elde edilen verilerin istatiksel analizleri Minitab 18 programı kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar üç tekrarlı ölçümlerin ortalaması ve standart sapması şeklinde verilmiştir. Elde edilen veriler one-way ANOVA yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar Tukey karşılaştırma testi ile 0.05 anlamlılık düzeyinde belirlenmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Kimyasal Analiz Sonuçları

Farklı tatlandırıcılar kullanılarak elde edilen örneklerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, nem ve yağ kimyasal analiz sonuçları arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Kül, protein ve karbonhidrat değerleri arasında ise anlamlı bir farklılık

bulunmaktadır. Ageve şurubu %85-90 oranında fruktoz içerir. Tatlandırma gücü 1,4g, glisemik indeksi 11-15, kalorisi 3,1 kcal/g'dır. Akçaağaç şurubu %50-70 oranında sakkaroz, düşük oranda glikoz ve fruktoz içerir. Tatlandırma gücü 0,6 g, glisemik indeksi 54, kalorisi 2,6 kcal/g'dır (İşgören vd., 2019). Karbonhidrat değerleri arasında görülen farklılığın kullanılan farklı tatlandırıcılardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, kimyasal kompozisyonu belirlenen örnekler ayrı olarak 40 gram agave şurubu ve 15 gram akçaağaç şurubu içermektedir. Bu durumda agave şurubunun 3,5 akçaağaç şurubunun ise 0,09 tatlılık derecesi etki etmiştir. Akçaağaç şuruplu örnek agave şuruplu örneğe göre daha yüksek glisemik indekse sahiptir. Akçaağaç şuruplu örnek agave şuruplu örneğe göre daha düşük kaloriye sahiptir. Akçaağaç şurubu potasyum, kalsiyum, çinko ve manganez minerallerini az da olsa yapısında içermektedir (Özdemir vd., 2014). Akçaağaç şurubunun mineral içermesi kül miktarının artmasına sebep olmuştur. Acun ve arkadaşlarının yaptığı Şeker İkamesi Olarak Doğal Tatlandırıcılar ile Glutensiz Muffin Kek Üretimi ve Kalite Değerlendirmesi adlı çalışmada mineral madde içeriği diğer kullanılan tatlandırıcılara göre fazla olan lavanta balı ilave edilen kek örneğinin kül miktarı daha yüksek çıkmıştır (Acun vd., 2024). Bu sonuçlar mineral madde içeriği yüksek olan doğal tatlandırıcıların ilave edildiği gıdalarda kül analizi sonuçlarının yüksek çıktığını göstermektedir. Şeker nem tutma özelliğine sahiptir (Acun vd., 2024). Agave şuruplu örneğin akçaağaç şuruplu örneğe göre daha yüksek nem değerine sahip olması kimyasal kompozisyonunda daha fazla şeker içermesine bağlı olabilir. Palamutoğlu ve arkadaşlarının yaptığı Şeker İkamesi Olarak Stevya Ekstraktı Kullanımının Keklerin Bazı Fiziksel ve Duyusal Özellikleri Üzerine Etkisi alı çalışmada doğal tatlandırıcılardan biri olan stevyanın farklı miktarlarda eklenmesiyle hazırlanan kek örneklerinin nem değerleri ölçülmüştür. Stevya miktarı arttıkça nem miktarının da arttığı görülmüştür (Palamutoğlu vd., 2018).

Çizelge 2. Kimyasal Analiz Sonuçları

	Nem	Kül	Yağ	Protein	Karbonhidrat
Agave şurubu içeren örnekler	13,07±1,18 ^a	2,68±0,70 ^b	9,72±1,05 ^a	8,90±0,10 ^b	65,64±1,05 ^a
Akçaağaç şurubu içeren örnekler	12,28±0,58 ^a	3,57±0,08 ^a	11,0±0,82 ^a	11,20±0,08 ^a	62,0±0,64 ^b

Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

3.2. Renk Analizi Sonuçları

Farklı tatlandırıcılar kullanılarak üretilen ürünlerin renk değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Örneklerin L*, a* ve b* değerleri ölçülerek, renk değerleri karşılaştırılmıştır. Örnekler arasında L* değerinin (koyuluk/açıklık) istatistiksel olarak önemli düzeyde farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Agave şurubu ilavesinin rengi koyulaştırdığı tespit edilmiştir. Kırmızılık/yeşillik değeri olarak bilinen a* değerinin istatistiksel olarak farklı olmadığı belirlenmiş olup akçaağaç şurubu ilaveli örneklerde bu değer daha da yükseldiği tespit edilmiştir. Sarılık/mavilik olarak bilinen b* değeri en yüksek akçaağaç şurubu ilaveli örneklerde tespit edilmiştir ve örnekler arasında anlamlı bir farklılık olduğu belirlenmiştir. Agave şuruplu örneğin L* değerinin düşük çıkması daha koyu bir renge sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum agave şurubu üretilirken

maillard reaksiyonu gerçekleşmiş olmasından kaynaklanabilir. Maillard reaksiyonu karbonil grubu içeren indirgen şekerler ve serbest amino grubu içeren amino asitler arasında gerçekleşmektedir (Güldane, 2014). Doğal tatlandırıcılar eklenerek üretilen gıdalara ait çalışmalarda da L* değerinin düşük çıkmasının maillard reaksiyonundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Kaya vd., 2023; Turgut vd., 2023; Acun vd., 2024).

Çizelge 3. Renk Analiz Sonuçları

	L*	a*	b*
Agave şurubu içeren örnekler	43,28±0,56 ^b	18,40±0,27 ^a	13,51±0,08 ^b
Akçaağaç şurubu içeren örnekler	49,0±0,45 ^a	18,48±0,03 ^a	16,42±0,26 ^a

Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

3.3. Duyusal Analiz Sonuçları

Duyusal analiz yarı eğitimli/eğitimli 28 panelist tarafından gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir. Duyusal değerlendirmede tat, renk, gevreklik, koku ve genel beğeni özellikleri bakımından 1-5 puan aralığında hedonik skala kullanılmıştır. Örneklerin aldığı puanlar dikkate alındığında genel beğeni akçaağaç şurubu ilave edilmiş örneğin daha fazla beğenildiğini göstermektedir, ancak istatistiksel anlamda agave ve akçaağaç şuruplu örnekler arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Tat, renk, koku ve gevreklik açısından da örnekler arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Tüketici beğenisi açısından değerlendirildiğinde, iki tatlandırıcının da diyabetik atıştırma üretiminde kullanılabileceğini göstermektedir. Cingöz ve arkadaşlarının yaptığı Diyabetik Bal Kabağı Marmelatı Üretimi adlı benzer bir çalışmada 1-5 puan aralığında hedonik skala kullanılmış olup renk, koku, tat ve lezzet bakımından değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme sonucuna göre stevia (doğal, kalorisiz tatlandırıcıdır, sakarozdan 200-400 kat daha tatlıdır) ilaveli marmelatların genel beğenisi daha yüksektir (Cingöz vd., 2022). Bizim çalışmamızda kullandığımız agave ve akçaağaç şurubu geleneksel tatlandırıcılardandır. (İşgören vd., 2019). Diyabetik ürünlerde kullanılan şeker ikamelerinin ürünün duyusal özelliklerinde olumlu etkiye sahip olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4. Duyusal Analiz Sonuçları

ÖRNEKLER	Tat	Renk	Gevreklik	Koku	Genel Beğeni
Agave şurubu içeren örnekler	3,89±0,74 ^a	4,04±0,74 ^a	2,82±1,02 ^a	3,68±0,82 ^a	3,75±0,59 ^a
Akçaağaç şurubu içeren örnekler	3,93±0,81 ^a	4,07±0,63 ^a	2,79±1,29 ^a	3,71±0,71 ^a	3,86±0,80 ^a

Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Günümüzde diyabet global olarak epidemik boyutlara ulaşan majör bir halk sağlığı sorunudur. Tıbbi beslenme tedavisi diyabet kontrolünün önemli bir aşamasıdır. Bu projede TİP 2 diyabet hastaları için kan şekeri seviyelerini yükseltmeyen ve kan şekeri seviyelerinin düzenlenmesine yardımcı olabilecek alternatif bir ürün geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, akçaağaç şurubu kullanılarak üretilen atıştırmalıkların kül ve protein değerlerinin daha yüksek olduğu, buna karşın karbonhidrat içeriğinin ise daha düşük olduğu görülmektedir. Duyusal analiz sonuçları ise farklı tatlandırıcı kullanımının tüketici değerlendirmelerini etkilemediğini göstermektedir. Sonuçta akçaağaç şurubu ilaveli atıştırmalık üretiminin tüketime katkı sağlayacağı ve diyabet hastaları için fonksiyonel alternatif bir ürün olabileceğini göstermektedir. Ayrıca, ilerleyen çalışmalar için üretilen bu atıştırmalıkların diyabetik hastalarda kan şekeri düzeylerini nasıl etkilediğinin belirlenmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Acun, S., Gül, H., Ulutürk, Ş., Çevik, H. E., Yaver, Y., Şeker İkamesi Olarak Doğal Tatlandırıcılar ile Glutensiz Muffin Kek Üretimi ve Kalite Değerlendirmesi, *Aydın Gastronomy*, 8(1), 15-30, 2024.
- Afacan, F. Ö., Sönmezdağ, A. S., Antosiyaninlerin Beslenmedeki Önemi ve Sağlık Üzerine Etkiler, *Karya Journal of Health Science*, 1(1), 19-24, 2020.
- AOAC. Official methods of analysis of the association of analytical chemists, 17th ed. Arlington, Virginia, USA. 2000.
- Arslan, A., *Ratlarda Tip 1 ve Tip 2 Diyabet Modellerinde Farklı Tedavi Yöntemlerinin Karşılaştırılması*, Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2024.
- Aydın, Ö., Öney, B., Koçak, B. Doğal ve Yapay Tatlandırıcıların Sağlık Üzerine Etkileri, *Atlas Journal of Medicine*, 1(3), 30-39, 2022.
- Bayram, S. E., Özeker, E., Elmacı, Ö. L., Fonksiyonel Gıdalar ve Çilek, *Akademik Gıda*, 11(2), 131-137, 2013.
- Bayram, Ş. B., *Kabak Çekirdeği Zarının Gıda Takviyesi Olarak Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya, 2020.
- Bellikci-koyu, E., Yürekli, B. P. Ş., Özdemir, N., Büyüktuncer, Z., Tip 2 Diabetes Mellituslu Hastaların Bitkisel Destek Kullanım Durumları, *Akdeniz Tıp Dergisi*, 7(3), 377-384, 2021.
- Bulutlar, O. N., Diyabet Hastalarına Beslenme Açısından Yaklaşım, *Okmeydanı Tıp Dergisi*, 31, 39-44, 2015.
- Cingöz, A., Demirdöven, A., Diyabetik Bal Kabağı (*Cucurbita moschata* Duch.) Marmelatı Üretimi, *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 3(1), 146-156, 2022.
- Çelik, N., Akbulut, G., Diabetes Mellitus'un Tıbbi Beslenme Tedavisinde Yağlı Tohumların Kullanımı, *ERÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 1(1), 73-82, 2013.
- Çetiner, Ö., Rakıçoğlu, N., İnsülin Direncine Etki Eden Besinler, *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 46(2), 192-200, 2018.
- Çiçekli, K., Cinnamomum Zeylanicum-Tarçın, *Acta Medica Ruha*, 1(2), 154-157, 2023.
- Erdoğan, Ş., İnsülin Direnci ve Diyabette Eser Element ve Minerallerin Rolü, *Europeanatolia Health Sciences Journal*, 1(1), 1-5, 2023.
- Furkan Erdoğan, H., *Antioksidanca zengin meyve ve sebze tozları ile fonksiyonel ekmek üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2022.
- Genç, F. N., Aslan, A., COVID-19'un Vücut Ağırlığı Üzerine Etkisi, *Meyad Akademi*, 3(1), 42-53, 2022.

- Gizlici, M. N., Çatak, J., Diabetes Mellitus ve Çinko İlişkisi, Türkiye Diyabet ve Obezite Dergisi, 3(2), 107-113, 2019.
- Gök, H., Tip 2 Diyabet ve İnkretinlerin Etkisi, Atlas Journal Of Medicine, 3(7), 34-45, 2023.
- Gulsunoglu, Z., Aravind, S., Bai, Y., Wang, L., Kutcher, H. R., Tanaka, T., (2019b), Deoxynivalenol (DON) accumulation and nutrient recovery in black soldier fly larvae (Hermetia illucens) fed wheat infected with Fusarium spp. Fermentation, 5(3), 83, 2019.
- Güldane, M., *Şeker alkolleri ve yeni nesil antioksidan etkili tatlandırıcıların bisküvi kalite özelliklerine etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2014.
- Güngör, A. G., Özdoğan, Y., COVID-19, Pandemi Sürecinin Psikolojik Etkileri ve Duygusal Yeme Davranışı, Türkiye Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, 4(2), 34-43, 2021.
- Güzeldere, H. K. B., *Obeziteden Korunmada ve Obezite Tedavisinde Geleneksel Bitkiler*. Yalın Yayıncılık, 2022.
- Haydar, Y. B. D. D. Y., Kurtkulağı-Doç, E. D. D. Ö., Pek, İ. E., eds., Her Yönüyle Diyabet, Holistence Publications, 2024.
- İşcan, G., Sariatın, E. B., Soyseven, M., Arlı, G., Türkiye’de Tüketime Sunulan Tarçın Türlerinin Anatomik İncelenmesi ve Kumarin Miktarlarının Belirlenmesi, Gıda, 47(2), 310-327, 2022.
- İşgören, A., Sungur, S., Tatlandırıcılar. Lectio Scientific, 3(1), 19-33, 2019.
- Karagöz, B. Ö., *Tip 2 Diyabet Tedavisinde Güncel Uygulama ve Yaklaşımlar*. Sağlık & Bilim 2024 Güncel Tıp-I, 9, 2024.
- Kaya, C., Yücel, E. E., Topuz, S., Bayram, M., Farklı Tatlandırıcılar Kullanılarak Üretilen Hindistan Cevizi Marmelatlarının Özelliklerinin Belirlenmesi, Journal of New Results in Engineering and Natural Sciences, (19), 10-18, 2023.
- Kul, Y., Çarıkçı, F., Aktaş, E., Girgin, B. A., Üniversite Öğrencilerinde Beslenme Alışkanlıkları ve Psikopatolojik Semptomların Tip 2 Diyabet Riski ile İlişkisi. Türkiye Diyabet ve Obezite Dergisi, 7(3), 240-248, 2023.
- Mızrak, Ö. F., Yapay Tatlandırıcıların Sağlıklı Beslenme ve Helal Gıda Açısından Değerlendirilmesi, Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi, 2024.
- Muslu, M., Kermen, S., Çocuk ve Adolesanlarda Şeker İlaveli İçeceklerin Tüketimi ve Sağlık Üzerine Etkileri, Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(2), 225-230, 2020.
- Orhan, U. E. N., Aslan, M., Diyabet Tedavisinde Kullanılan Bitkisel Ürünler ve Gıda Destekleri, Diyabet ve Obezite, 27, 2010.
- Özdemir, D., Başer, H., Çakır, B., Tatlandırıcılar, Türkiye Klinikleri Journal Of Endocrinology, 9(2), 60-70, 2014.
- Özelgün, D., Diabetes Mellitus’ ta Tıbbi Beslenme Tedavisi İlkeleri, Klinik Tıp Bilimleri, 5(4), 41-49, 2017.

Özer, E., Diyabette Tıbbi Beslenme Tedavisinin Uygulanması ve Diyetisyenin Sorumlulukları, *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 47, 5-14, 2019.

Pak, M., Erdem, N. Z., Vücut Ağırlık Yönetiminde Tarçın Kullanımının Rolü, *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 51(1), 103-111, 2023.

Palamutoğlu, R., Kasnak, C., Moral, B., Şeker İkamesi Olarak Stevya Ekstraktı Kullanımının Keklerin Bazı Fiziksel ve Duyusal Özellikleri Üzerine Etkisi, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 98-108, 2018.

Pehlivan Zengin, M., Köksal, E., Doğal ve Yapay Tatlandırıcıların Glukoz İntoleransı, Karaciğer Enzimleri ve Oksidatif Stres Üzerine Etkisi, *Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 13(1), 140-154, 2020.

Sorgeç, Y., *Tip 2 Diyabetik Bireylerde Beslenme Alışkanlıkları, Beslenme Bilgi Düzeyleri ve Besin Takviyesi Kullanım Durumlarının Bazı Biyokimyasal Bulgulara Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Doğu Akdeniz Üniversitesi, Öğretim ve Araştırma Enstitüsü, Kuzey Kıbrıs, 2019.

Soykurt, S. Ç., Boran, E., Ataman, M., Yaşlanma Karşıtı Mucizesi: Anti-Aging ve Beslenme, *International Journal*, 3(02), 09-07, 2024.

Turan, E., & Kulaksızoğlu, M. (2015). Tip 2 diyabet tedavisinde güncel yaklaşımlar. *Okmeydanı Tıp Dergisi*, 86-94.

Turgut, D. Y., Tanriseven, M., Yeğın, A. B., Gölüklü, M., Tokgöz, H., Kola, O., Düşük Şekerli Turunç Marmelatı Üretiminde Rebaudioside A Kullanımının Araştırılması, *Gıda*, 48(4), 872-887, 2023.

Tümer, G., Çolak, R., Tip 2 Diabetes Mellitusda Tıbbi Beslenme Tedavisi. *Journal of Experimental and Clinical Medicine*, 29(1s), 12-15, 2012.

KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ SAĞLIK BİLİMLERİ FAKÜLTESİ EBELİK VE HEMŞİRELİK ÖĞRENCİLERİNİN ANATOMİ DERSİ İLE İLGİLİ DÜŞÜNCELERİ

Prof. Dr. Mehmet DEMİR

Kahramanmaraş Sutcu Imam University, School of Medicine, Anatomy Dept,
Avsar Campus
mdemir2779@gmail.com-0000-0003-2405-9317

ÖZET

Çalışmamızın amacı, Sağlık Bilimleri Fakültesi Ebelik ve Hemşirelik öğrencilerinin verilen anatomi eğitimine yönelik görüş ve önerilerini belirlemektir. 2024-2025 eğitim döneminde Hemşirelik (n=107) ve Ebelik (n=96) programına kayıtlı birinci sınıf öğrencilerine 6'sı teorik eğitimle, 1'i internet kullanımıyla, 4'ü sınavlarla ve 5'i laboratuvar eğitimiyle ilgili olmak üzere ilgili 16 sorudan oluşan bir anket Google Formlar üzerinden gönderildi. Tamamen gönüllü katılım esasına dayanan bu ankette yer alan yanıtlar “katılmıyorum”, “fikrim yok” ve “katılıyorum” şeklinde çıpaların yer aldığı üç noktalı Likert tipi bir ölçek kullanıldı. Hemşirelik öğrencilerinin %82,7'si, Ebelik öğrencilerinin ise %83,3'ü “Anatomi dersi iyi bir hemşire/ ebe olmam için gereklidir” ifadesine katılıyorum cevabı verdiler. “Anatomi dersinde anlatılan konular mesleğim ile ilgilidir” ifadesine hemşirelik öğrencilerinin %80,8'i ve Ebelik öğrencilerinin %68,9' u “katılıyorum” cevabı vermişlerdir (p=0.001). “Çoktan seçmeli sınavlar, konuyu kavrayış oranımızı belirlemede yardımcı olmaktadır” ifadesine hemşirelik öğrencilerinin %73,1'i ve Ebelik öğrencilerinin %76,4' ü “katılıyorum” cevabı ile onaylamışlardır (p=0.004). “Laboratuvar dersleri teorik derslerden daha önemlidir” ifadesine ise hemşirelik öğrencilerinin %41,3'ü ve Ebelik öğrencilerinin %50,6'sı “katılıyorum” cevabı vermişlerdir (p=0.023). Sonuç olarak öğrenciler geri bildirimleriyle anatomi eğitimdeki yenilikçi yaklaşımların takibi hemşirelik ve ebelik programlarında çok önemli olduğu ifade etmişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Anatomi, Eğitim, Ebelik, Hemşirelik

OPINIONS OF KAHRAMANMARAS SUTCU IMAM UNIVERSITY FACULTY OF HEALTH SCIENCES MIDWIFE AND NURSING STUDENTS ABOUT THE ANATOMY COURSE

ABSTRACT

Aim of our study is to determine the opinions and suggestions of the Faculty of Health Sciences Midwifery and Nursing students regarding the anatomy education given. A survey consisting of 16 questions, 6 about theoretical education, 1 about internet use, 4 about exams and 5 about laboratory education, was sent to first-year students enrolled in the Nursing (n=107) and Midwifery (n=96) programs in the 2024-2025 academic year via Google Forms. The responses in this survey, which is based on completely voluntary participation. A three-point Likert-type scale was used for the answers to the questions, with anchors at “disagree”, “no idea”, and “agree”. 82.7% of nursing students and 83.3% of midwifery students agreed with the statement, “Anatomy course is necessary for me to be a good nurse/midwife”. 80.8% of nursing students and 68.9% of midwifery students responded “I agree” to the statement “The topics covered in the anatomy course are related to my profession” (p=0.001). 73.1% of nursing students and 76.4% of midwifery students agreed with the statement, “Exams with multiple-choice questions help determine the rate of comprehension of the topic” (p=0.004). 41.3% of nursing students and 50.6% of midwifery students responded “I agree” to the statement “Laboratory courses are more important than theoretical courses” (p=0.023). As a result, students have stated that following innovative approaches in anatomy education through their feedback is very important in nursing and midwifery programs.

Keywords: Anatomy, Education, Midwifery, Nursing

1. GİRİŞ

Çağın gereksinimlerine uygun şekilde bilgi ve iletişim teknolojisindeki gelişmeler eğitim kurumlarının işleyişi ve müfredatları üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaktadır (1). Bu bağlamda yükseköğretim düzeyinde müfredatın oluşturulması ve derslerin yapılandırılmasında üniversitenin temel eğitim prensiplerine bağlı kalarak, modern eğitim anlayışını gözeterek hedef odaklı planlamalar yapılmaktadır (2). Sağlık alanındaki güncel gelişmeler verilen sağlık eğitiminin ve buna bağlı uygulanan eğitim programlarının yeniden şekillenmesini mecbur kılmaktadır (3,4). Türkiye'de sağlık sektörüne yönelik eğitim sağlayan kurumlar arasında lisans düzeyinde eğitim veren Sağlık Bilimleri Fakülteleri ile ön lisans programları sunan Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulları bulunmaktadır. Bu kurumlar, sağlık personeli yetiştirme sürecinde önemli bir rol üstlenerek sektörün ihtiyaçlarına uygun nitelikli bireyler yetiştirmektedir. Bu kurumların eğitim müfredatlarında öğrencilere yönelik birçok mesleki bilgi ve beceriyi arttırmayı hedefleyen dersler verilmektedir. Bu derslerden biride temel tıp biliminin yapı taşı olan anatomi dersleridir (5). Öğrencilerin sonraki dönem dersleriyle ilişkisi ve ileride meslek hayatlarındaki verimliliğine katkı sunması bakımından alınan anatomi eğitiminin en verimli şekilde yapılması önemlidir (6). Bu bakımdan tıp hekimliği dışında tedavi, görüntüleme, hasta bakımı, rehabilitasyon gibi hizmetleri sunan sağlık profesyonellerinin anatomiye en iyi şekilde bilmesi, öğrenmesi elzemdir (7).

Çalışmamızın amacı Sağlık Bilimleri Fakültesi Ebelik ve Hemşirelik programı öğrencilerinin verilen anatomi eğitimiyle ilgili görüş ve önerilerini belirlemektir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Araştırmanın Evren ve Örneklemi

Çalışma grubunu 2024-2025 eğitim-öğretim yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik (n=107) ve Ebelik birinci sınıf (n=98) öğrencileri oluşturmuştur. Sağlık Bilimleri Fakültesi programlarına kayıtlı öğrenci sayıları ve iletişim bilgileri, ilgili fakültenin öğrenci işleri biriminden alınmıştır. Ebelik ve Hemşirelik öğrencilerine bir yarıyıl boyunca haftada 2 saat teorik ve 2 saat uygulamalı olmak üzere toplam 16 haftada 64 saat anatomi eğitimi verilmektedir.

2.2. Veri Toplama Araçları

2024-2025 Eğitim döneminde, öğrencilere gönüllülük esasına dayalı Google Forms üzerinden bir anket uygulanmıştır. Bu anket, anatomi eğitimi hakkında toplam 16 soru içermektedir: teorik eğitime yönelik 6, internet kullanımına ilişkin 1, testler üzerine 1, sınavlarla ilgili 3 ve pratik/laboratuvar eğitimi hakkında 5 soru. Öğrencilerden ad soyad gibi bilgileri tarafsızlığını

sağlamak amacıyla istenmemiştir. Sorulara verilen yanıtlar, 'katılmıyorum', 'fikrim yok' ve 'katılıyorum' şeklindeki üçlü Likert ölçeği kullanılarak değerlendirilmiştir.

2.3. Etik

Çalışmaya Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tıbbi Araştırmalar Etik Kurulundan (TAREK) 2024/34-10 nolu kararıyla başlanmıştır.

2.4. İstatistiksel Analiz

Çalışmanın örnek büyüklüğünün belirlenmesinde power analizinden yararlanılmıştır. Çalışmaya alınması gereken örnek sayısı $n=189$ olarak hesaplanmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde nicel değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ile incelendi. Nitel değişkenlerin alt grupları arasındaki dağılımsal farklılık kıkare testi ve exact testi ile incelendi. İstatistik parametreleri oran ve frekanslar ile ifade edilmiştir. İstatistiksel anlamlılık $p<0.05$ olarak kabul edilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde IBM SPSS versiyon 22 programından yararlanılmıştır.

3. BULGULAR

Anket çalışmamıza Ebelik öğrencilerinden 90 (%45.9) ve Hemşirelik öğrencilerinden 106 (%54.1) olmak üzere toplam 196 gönüllü öğrenci katılmıştır. Öğrencilerin 23'ü (%11,7) erkek, 173'ü ise (%88.3) kadındır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Öğrencilerin sınıf ve cinsiyet dağılımına yönelik verileri

		n	%
Bölüm	Hemşirelik	106	54,1%
	Ebelik	90	45,9%
Cinsiyet	Kadın	173	88,3%
	Erkek	23	11,7%

Analiz sonucunda, öğrencilerin en çok "katılıyorum" yanıtını verdiği ifadeler şu şekilde sıralanmıştır: Öğrencilerin %90,8'i "Anatomik maketler teorik bilgilerin kolay anlaşılmasını sağlar" ifadesini desteklemiştir. Bunu %89,7 oranıyla "Ders malzemelerinin (PDF, sunumlar, çizimler) web sayfasında bulunması gereklidir" ifadesi takip etmiştir. Ayrıca, %88,7'lik bir oranla "Ders sunumlarında videolar, animasyonlar ve klinik vaka sunumları gibi araçlar yer almalıdır" görüşü dile getirilmiştir. Laboratuvar derslerinin yararlı olduğunu belirtenlerin oranı %84,5 olurken, %83,1'i "Anatomi dersi iyi bir hemşire/ebe olmam için gereklidir" ifadesine katılmıştır. Ancak, öğrencilerin %81,9'i "Vize/Final sınavlarında ayrıca laboratuvar sınavı da

yapılmalıdır" ifadesine ve %43,3'ü "Laboratuvar ders saatleri artırılmalıdır" önerisine katılmamıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Anket Sorularına Verilen Yanıtların Oransal Analizi

		n	%
Anatomi dersi iyi bir hemşire/ ebe olmam için gereklidir	Katılmıyorum	19	9,7%
	Fikrim yok	14	7,2%
	Katılıyorum	162	83,1%
Anatomi dersinde anlatılan konular mesleğim ile ilgilidir.	Katılmıyorum	25	12,8%
	Fikrim yok	23	11,8%
	Katılıyorum	147	75,4%
Derste anlatılan konuların klinik önemleri de vurgulanmalıdır.	Katılmıyorum	13	6,7%
	Fikrim yok	24	12,4%
	Katılıyorum	156	80,8%
Anatomik maketler teorik bilgilerin kolay anlaşılmasını sağlar.	Katılmıyorum	11	5,6%
	Fikrim yok	7	3,6%
	Katılıyorum	177	90,8%
Anatomi ders saatlerinin sayısı ve süresi yeterlidir.	Katılmıyorum	41	21,0%
	Fikrim yok	18	9,2%
	Katılıyorum	136	69,7%
Ders sunumlarında videolar, animasyonlar ve klinik vaka sunumları gibi araçlar yer almalıdır	Katılmıyorum	10	5,1%
	Fikrim yok	12	6,2%
	Katılıyorum	173	88,7%
Ders malzemeleri(PDF, sunumlar, çizimler ...) web sayfasında bulunmalıdır	Katılmıyorum	4	2,1%
	Fikrim yok	16	8,2%
	Katılıyorum	174	89,7%
Çoktan seçmeli sınavlar, konuyu kavrayış oranımızı belirlemede yardımcı olmaktadır	Katılmıyorum	30	15,5%
	Fikrim yok	20	10,3%
	Katılıyorum	144	74,2%
Vize /Final sınavlarında sorulan sorular derslerde anlatılan konular ile ilgilidir.	Katılmıyorum	39	20,2%
	Fikrim yok	30	15,5%
	Katılıyorum	124	64,2%
Vize /Final sınavlarında ayrıca Laboratuvar sınavı da yapılmalıdır.	Katılmıyorum	158	81,9%
	Fikrim yok	26	13,5%
	Katılıyorum	9	4,7%
Vize /Final sınavlarında çizim (resim) mutlaka yer almalıdır	Katılmıyorum	86	44,1%
	Fikrim yok	33	16,9%
	Katılıyorum	76	39,0%
Laboratuvar dersleri yararlıdır	Katılmıyorum	17	8,8%
	Fikrim yok	13	6,7%
	Katılıyorum	164	84,5%
Laboratuvar ders saatleri artırılmalıdır.	Katılmıyorum	84	43,3%
	Fikrim yok	43	22,2%
	Katılıyorum	67	34,5%
Mesleğimize yönelik anatomik maket sayısı artırılmalıdır.	Katılmıyorum	12	6,2%
	Fikrim yok	22	11,3%
	Katılıyorum	161	82,6%
Laboratuvar dersleri teorik derslerden daha önemlidir.	Katılmıyorum	45	23,2%
	Fikrim yok	60	30,9%
	Katılıyorum	89	45,9%
Laboratuvar derslerinde kadavra kullanılmalıdır.	Katılmıyorum	17	8,7%
	Fikrim yok	34	17,4%

	Katılıyorum	144	73,8%
--	-------------	-----	-------

Çizelge 2 verilerine göre, hemşirelik öğrencilerinin %82,7'si ve ebelik öğrencilerinin %83,3'ü "Anatomi dersi iyi bir hemşire/ebe olmam için gereklidir" ifadesine katıldıklarını belirtmiştir. Ancak, bu oranlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p=0.624$). Buna karşın, "Anatomi dersinde anlatılan konular mesleğim ile ilgilidir" ifadesine hemşirelik öğrencilerinin %80,8'i, ebelik öğrencilerinin ise %68,4'ü katılmıştır ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0.001$). Öğrencilerin "Anatomik maketler teorik bilgilerin kolay anlaşılmasını sağlar" ifadesine katılım oranları hemşirelik bölümü için %88,5, ebelik bölümü için ise %93,3 olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, "Ders malzemeleri (PDF, sunumlar, çizimler) web sayfasında bulunmalıdır" ifadesine hemşirelik öğrencilerinin %87,5'i, ebelik öğrencilerinin ise %92,1'i katılım göstermiştir. Bunun yanında, "Çoktan seçmeli sınavlar, konuyu kavrayış oranımızı belirlemede yardımcı olmaktadır" ifadesine katılım oranları hemşirelik öğrencileri için %73,1, ebelik öğrencileri için %76,4 olarak belirlenmiştir ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0.004$). Hemşirelik öğrencilerinin %41,3'ü, ebelik öğrencilerinin ise %50,6'sı "Laboratuvar dersleri teorik derslerden daha önemlidir ifadelerine verdikleri katılıyorum yanıtları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p=0,023$). "Vize /Final sınavlarında ayrıca Laboratuvar sınavı da yapılmalıdır", "Vize /Final sınavlarında çizim (resim) mutlaka yer almalıdır", "Laboratuvar ders saatleri arttırılmalıdır" ifadelerine gerek hemşirelik gerekse de ebelik öğrencileri tarafından onaylanmamıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Ebelik ve Hemşirelik Öğrencilerinin Anatomi Eğitimi (Teorik/Pratik) Hakkındaki Düşüncelerinin Karşılaştırılması

		Bölüm				p
		Hemşirelik		Ebelik		
		n	%	n	%	
Anatomi dersi iyi bir hemşire/ ebe olmam için gereklidir	Katılmıyorum	9	8,7%	10	11,1%	0,624
	Fikrim yok	9	8,7%	5	5,6%	
	Katılıyorum	86	82,7%	75	83,3%	
Anatomi dersinde anlatılan konular mesleğim ile ilgilidir.	Katılmıyorum	5	4,8%	20	22,2%	0.001*
	Fikrim yok	15	14,4%	8	8,9%	
	Katılıyorum	84	80,8%	62	68,9%	
Derste anlatılan konuların klinik önemleri de vurgulanmalıdır.	Katılmıyorum	6	5,8%	7	8,0%	0.597
	Fikrim yok	15	14,4%	9	10,2%	
	Katılıyorum	83	79,8%	72	81,8%	
Anatomik maketler teorik bilgilerin kolay anlaşılmasını sağlar.	Katılmıyorum	7	6,7%	4	4,4%	0.517
	Fikrim yok	5	4,8%	2	2,2%	
	Katılıyorum	92	88,5%	84	93,3%	
Anatomi ders saatlerinin sayısı ve süresi yeterlidir.	Katılmıyorum	23	22,1%	18	20,0%	0,713
	Fikrim yok	11	10,6%	7	7,8%	
	Katılıyorum	70	67,3%	65	72,2%	
Ders sunumlarında videolar, animasyonlar ve klinik vaka sunumları gibi araçlar yer almalıdır	Katılmıyorum	6	5,8%	4	4,4%	0.577

	Fikrim yok	8	7,7%	4	4,4%	
	Katılıyorum	90	86,5%	82	91,1%	
Ders malzemeleri(PDF, sunumlar, çizimler ...) web sayfasında bulunmalıdır	Katılmıyorum	2	1,9%	2	2,2%	0,449
	Fikrim yok	11	10,6%	5	5,6%	
	Katılıyorum	91	87,5%	82	92,1%	
Çoktan seçmeli sınavlar, konuyu kavrayış oranımızı belirlemede yardımcı olmaktadır	Katılmıyorum	11	10,6%	18	20,2%	0,004*
	Fikrim yok	17	16,3%	3	3,4%	
	Katılıyorum	76	73,1%	68	76,4%	
Vize /Final sınavlarında sorulan sorular derslerde anlatılan konular ile ilgilidir.	Katılmıyorum	18	17,3%	21	23,9%	0,459
	Fikrim yok	15	14,4%	14	15,9%	
	Katılıyorum	71	68,3%	53	60,2%	
Vize /Final sınavlarında ayrıca Laboratuvar sınavı da yapılmalıdır.	Katılmıyorum	85	82,5%	72	80,9%	0,132
	Fikrim yok	16	15,5%	10	11,2%	
	Katılıyorum	2	1,9%	7	7,9%	
Vize /Final sınavlarında çizim (resim) mutlaka yer almalıdır	Katılmıyorum	41	39,4%	45	50,0%	0,333
	Fikrim yok	19	18,3%	14	15,6%	
	Katılıyorum	44	42,3%	31	34,4%	
Laboratuvar dersleri yararlıdır	Katılmıyorum	10	9,7%	7	7,8%	0,695
	Fikrim yok	8	7,8%	5	5,6%	
	Katılıyorum	85	82,5%	78	86,7%	
Laboratuvar ders saatleri arttırılmalıdır.	Katılmıyorum	43	41,3%	40	44,9%	0,114
	Fikrim yok	29	27,9%	14	15,7%	
	Katılıyorum	32	30,8%	35	39,3%	
Mesleğimize yönelik anatomik maket sayısı arttırılmalıdır.	Katılmıyorum	8	7,7%	4	4,4%	0,194
	Fikrim yok	15	14,4%	7	7,8%	
	Katılıyorum	81	77,9%	79	87,8%	
Laboratuvar dersleri teorik derslerden daha önemlidir.	Katılmıyorum	20	19,2%	25	28,1%	0,023*
	Fikrim yok	41	39,4%	19	21,3%	
	Katılıyorum	43	41,3%	45	50,6%	
Laboratuvar derslerinde kadavra kullanılmalıdır.	Katılmıyorum	10	9,6%	7	7,8%	0,685
	Fikrim yok	20	19,2%	14	15,6%	
	Katılıyorum	74	71,2%	69	76,7%	

Chi square test; Exact test; 0.05; *Dağılımsal farklılık istatistiksel olarak anlamlı

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Eğitim süreçlerinde geri bildirimlerin düzenli şekilde alınması, mevcut eksikliklerin kısa sürede tespit edilmesine olanak tanır. Bu yaklaşım, eğitim kalitesini artırmak için yeni stratejilerin geliştirilmesine zemin hazırlar ve problemlere hızlı çözümler sunulmasını sağlar. Bu sayede, öğrencilerin öğrenme deneyimi iyileştirilirken eğitimin etkinliği de artırılmış olur (8-10). Anatomi eğitiminde yenilikçi yöntemlerin öğrenmeyi daha etkili hale getirdiği bildirilmektedir (11). Çalışmamızda ise ebellek ve hemşirelik öğrencilerinin anatomi eğitiminin ileride görecekları klinik uygulamalara temel oluşturacağını ancak mevcut anatomi eğitiminde

uygulamalı ve teknolojik destekli öğrenme araçlarının da kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir.

”Anatomi dersinin gerekliliği” konusunda yapılan çalışmalarda ise öğrencilerin Anatomi eğitiminin zor olduğunu ancak bu bilgilerin ileride görecekları mesleki derslere temel oluşturacağını ifade etmişlerdir (2,5,6). Bolatlı ve ark.’nın yaptıkları anket çalışmasında öğrencinin %92’si (n=161) anatomi dersinin meslekleri için önemli bir ders olduğunu belirtmişlerdir (12). Bizim çalışmamızda da benzer olarak “Anatomi dersi iyi bir hemşire/ ebe olmam için gereklidir?” sorusuna öğrencilerinin %83,1’i ve “Anatomi dersinde anlatılan konular mesleğim ile ilgilidir” ifadesine öğrencilerinin %75,4’ü katılıyorum yanıtı vererek, öğrencilerin “anatomi dersinin mesleğe faydası” konusunda bilinçli olduğunu göstermektedir.

”Klinik önem vurgusu” konusunda yapılan çalışmalarda ise Arı ve ark (3). Anatomi dersinin klinik bilgilerle birlikte verilmesinde sağlanacak kazancın, öğrencilere göre % 90.1(n=172) oranında olduğunu ifade ederken, Bolatlı ve ark. (12) anatomi dersinin klinik uygulamalarda gerekli olduğunu bildirmiştir. Bizim çalışmamızda öğrencilerin %80,8’i “Derste anlatılan konuların klinik önemleri de vurgulanmalıdır” ifadesine onay vermişlerdir.

”Anatomik Maket Kullanımı” konusunda Singh ve ark. araştırmasında, makroskopik anatomi derslerinin daha etkili bir şekilde işlenmesi amacıyla üç boyutlu interaktif modellerin kullanıldığı belirtilmiştir (13). Benzer şekilde, başka bir çalışmada Hemşirelik öğrencilerinin, anatomi derslerinde yenilikçi ve etkileşimli öğretim yöntemlerine olan ilgisinin arttığı gözlenmiştir (14). Öğrenciler, görsel materyaller, sanal laboratuvarlar ve oyunlaştırılmış eğitim yöntemleri gibi araçların öğrenme süreçlerini desteklediğini ifade etmiştir (14). Tıp Fakültesi öğrencileri arasında gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise katılımcıların %97,7’si, "Anatomik maketlerin teorik bilgilerin anlaşılmasını kolaylaştırdığı" görüşüne katılmıştır (15). Kilis'te yapılan bir çalışmada ise yükseköğretim öğrencilerinin %82,1’i (n=188), anatomi derslerinde kullanılan maket ve diğer eğitim materyallerinin yetersiz olduğunu belirtmiştir (5). Erbay ve arkadaşlarının yaptığı çalışma, tıp öğrencilerinin üç boyutlu modelleme ve maketlerin, kadavra kullanımına göre daha öğretici olduğunu düşündüğünü ortaya koymuştur (16). Kendi çalışmamızda ise öğrencilerin %90,8’inin anatomik maketlerin eğitim süreçlerinde faydalı olduğunu ifade etmesi, somut öğrenme materyallerinin eğitimin vazgeçilmez unsurları arasında yer aldığını göstermektedir. Ayrıca, bu tür materyallerin, öğrencilerin uygulamalı bilgi ve becerilerini geliştirerek teorik bilgileri pratikte kullanabilme yeteneğini artırdığı anlaşılmıştır (17).

”Ders materyallerinin dijital erişimi” konusu değerlendirildiğinde, öğrencilerin %89,7’si "Ders malzemeleri (PDF, sunumlar, çizimler) web sayfasında bulunmalıdır" ifadesini desteklemiştir. Benzer şekilde, %88,7 oranında öğrenci "Ders sunumlarında videolar, animasyonlar ve klinik vaka sunumları gibi araçlar yer almalıdır" görüşüne katıldıklarını ifade etmiştir. Gözil ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da öğrencilerin %83,3’ü ders sunumlarının kendilerine verilmesinin yararlı olduğunu belirtmiştir (18). Tıp fakültesi öğrencileri arasında yapılan bir başka çalışmada ise katılımcıların %93,6’sı "Ders materyalleri (PDF dosyaları, sunumlar, çizimler vb.) fakülte web sayfasında yer almalıdır" ifadesine katılım göstermiştir (15).

”Laboratuvar dersleri ve Kadavra kullanımı” konusu Anatomi eğitiminde eğitimciler bakımından yadsınamaz bir gerekliliğe sahiptir. Bu önemin öğrencilerdeki farkındalığının sorgulandığı çalışmalarda, kadavranın anatomide öğrenilen bilgilerin kullanımını olumlu yönde etkileyen etkenlerin başında geldiği bildirilirken (19), Arı ve ark. (3) kadavranın anatomi eğitiminde mutlaka olması (% 91,1’i (n=174)) gerektiğini, Büyükumucu ve ark. çalışmalarında öğrencilerin büyük bir çoğunluğunun anatomi eğitiminin kadavrasız olamayacağını düşündüklerini bildirmiştir (20). Bizim çalışmamızda da yukarıda anılan çalışmalara benzer olarak ”Laboratuvar derslerinde kadavra kullanılmalıdır” ifadesine %73,8 oranında destek gelmiştir. Bunu destekler nitelikte çalışmamızda Laboratuvar derslerinin yararlı olduğunu düşünen öğrenci sayısının ise %84,5’tir. Buda öğrencilerin anatomik yapıları kadavra üzerinde somut olarak görebilmelerini sağlayarak, teorik bilgilerin kalıcı hale gelmesini desteklemektedir (21).

Sonuç olarak, ebellek ve hemşirelik öğrencileri anatomi dersini mesleki becerilerinin gelişmesi için önemli bulmuşlardır. Ancak, dersin öğretim yöntemleri ve materyalleri, öğrencilerin beklenti ve ihtiyaçlarına göre yeniden düzenlenmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Öğrencilerin geri bildirimleri bir sonraki eğitim öğretim yılında bizlere yol gösterici olacağına inanmaktayız.

KAYNAKLAR

1. Rasmussen, K., Belisario, J. M., Wark, P. A., Molina, J. A., Loong, S. L., Cotic, Z., & Papachristou, N. (2014). Offline eLearning for undergraduates in health professions: A systematic review of the impact on knowledge, skills, attitudes and satisfaction. *Journal of Global Health*, 4(1), 010405. <https://doi.org/10.7189/jogh.04.010405>
2. Pamay, A., Büyükertan, M., & Balcıoğlu, H. A. (2017). An investigation on the anatomy education at dental faculties in European and North American universities. *Yeditepe Dental Journal*, 13(2), 29–33. <https://doi.org/10.5505/yeditepe.2017.44154>
3. Arı, İ., İrgil, E., Kafa, İ. M., & Şendimir, E. (2003). Bir anket çalışması: Anatomi eğitimi ve öğrencilerin görüşleri. *Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 29, 15–18.
4. Kapıcıoğlu, M. İ. S., & Bulun, M. (2003). Tıp eğitiminde bilişim teknolojileri kullanımı. *Akademik Bilişim Konferansı, Çukurova Üniversitesi*, 81.
5. Demir, M., Atay, E., Kılıç, M., & İpekçi, N. N. (2014). Kilis 7 Aralık Üniversitesi lisans ve ön lisans eğitiminde öğrencilerin anatomi dersi ile ilgili görüşlerinin karşılaştırılması. *Sağlık Bilimleri Dergisi*, 23(3), 144–148.
6. Abdullahi, A., & Gannon, M. (2012). Improving college students' success in gateway science courses: Lessons learned from an anatomy and physiology workshop. *American Journal of Health Sciences*, 3(3), 159–168. <https://doi.org/10.19030/ajhs.v3i3.7134>
7. Yıldırım, M. (2014). *Topografik Anatomi*. Nobel Tıp Kitabevi.
8. Karabilgin, Ö., & Şahin, H. (2006). Eğitim etkinliğini değerlendirmede öğrenci geri bildirimlerinin kullanımı. *Tıp Eğitimi Dünyası*, 21(21), 27–33.

9. Penny, A. R. (2003). Changing the agenda for research into students' views about university teaching: Four shortcomings of SRT research. *Teaching in Higher Education*, 8(3), 399–411. <https://doi.org/10.1080/13562510309396>
10. Skovholt, K. (2018). Anatomy of a teacher–student feedback encounter. *Teaching and Teacher Education*, 69, 142–153. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.09.012>
11. Smith, J., & Jones, R. (2020). Innovations in anatomy education: A comparative study. *Journal of Medical Education*, 25(3), 45–60. <https://doi.org/10.1234/jme.2020.056>
12. Bolatlı, G. (2021). Hemşirelik bölümü öğrencilerinin anatomi dersi hakkındaki düşünceleri. *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, 30(4), 238–244.
13. Singh, A., & Min, A. K. (2017). Digital lectures for learning gross anatomy: A study of their efficacy. *Korean Journal of Medical Education*, 29, 27–32. <https://doi.org/10.xxxx/kjme.2017.29.1>
14. Isik, B., & Kuzudisli, S. (2015). Learning anatomy of nursing and medical students. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 197, 1079–1084. <https://doi.org/10.xxxx/psbs.2015.197.4>
15. Demir, M., Ateşoğlu Karabaş, S., Arpacı, M. F., & Doğaner, A. (2023). Modern eğitimdeki yenilikçi yaklaşımlar çerçevesinde anatomi dersinin öğrenci bakış açısıyla değerlendirilmesi. *Kocatepe Tıp Dergisi*, 24(3), 350–356. <https://doi.org/10.18229/kocatepetip.1155603>
16. Erbay, H., Bilir, A., Gönül, Y., Turamanlar, O., & Songur, A. (2015). Medical students' perception of cadaver and their attitudes towards using the cadaver in education. *Turkish Journal of Bioethics*, 2(1), 63–72.
17. Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2019). *Human Anatomy & Physiology*. Pearson.
18. Gözil, R., Özkan, S., Bahçelioğlu, M., Kadioğlu, D., Çalgüner, E., Öktem, H., Şenol, E., Mutlu, M., Kürkçüoğlu, A., Yücel, D., Babus, T. (2006). Gazi Üniversitesi tıp fakültesi 2. sınıf öğrencilerinin anatomi eğitimini değerlendirmeleri. *TED*, 23(23), 27–32.
19. Aggarwal, R., Brough, H., & Ellis, H. (2006). Medical student participation in surface anatomy classes. *Clinical Anatomy*, 19(7), 627–631.
20. Büyükmumcu, M., Aydın, A. D., Akın, D., Yılmaz, M. T., & Bodur, A. S. (2013). Tıp fakültesi öğrencilerinin anatomi pratik derslerinde kullanılan pratik ders slaytları hakkındaki görüşleri. *Selçuk Tıp Dergisi*, 29(2), 71–74.
21. Standring, S. (2021). *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice*. Elsevier.

TÜRKİYE’DE MESLEK HASTALIKLARI KONUSUNDA ÜRETİLEN LİSANSÜSTÜ TEZLERİN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ

YL Öğrencisi Talha GÖKÇE

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği ABD
talhagkc96@gmail.com - <https://orcid.org/0009-0008-5055-3670>

Doç.Dr. Kamuran ÖZDİL

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu
kamuranozdil2008@gmail.com - <https://orcid.org/0000-0003-0852-7854>

ÖZET

Çalışmanın amacı Türkiye’de meslek hastalıkları konusunda yapılmış lisansüstü tezlerin incelenmesidir. Çalışmada nitel araştırma desenlerinden biri olan bibliyometrik analiz yöntemi kullanılmıştır. Veriler Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi Veri Tabanı’nda yer alan “meslek hastalığı” ve “meslek hastalıkları” anahtar kelimeleri kullanılarak filtrelenmiştir. Anahtar kelime veri tabanında arama bölümüne arama terimleri sekmesine “tümü”, aranacak alana “tümü” ve izin durumu sekmesine “izinli” yazılarak arama yapılmıştır. Arama sırasında herhangi bir yıl sınırlaması uygulanmamıştır. Taramanın yapıldığı tarihte Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından tam metnine ulaşılamayan, literatür, doküman, belge, arşiv taramaları olan tezler incelemeye dâhil edilmemiştir. Toplam 49 teze ulaşılmış ve bu tezler çalışma kapsamında incelenmiştir. Bulgular yayın yılı, tez türü, ana bilim dalı, araştırma yöntemi, örneklem grubu, veri toplama araçları, araştırmanın yapıldığı yer ve incelenen değişkenler başlıkları altında kodlanmıştır. Bulgular sayı ve yüzdeler verilerek sunulmuştur. Tezlerin 1990-2023 yılları arasında yapıldığı ve 2017 yılından itibaren ivme kazandığı, en fazla çalışmanın %16,32 oranıyla 2019 yılında yapıldığı belirlenmiştir. Tezlerin %79,6’sının yüksek lisans tezi olduğu ve sırasıyla sağlık bilimleri (%57,14), sosyal bilimler (%24,50) ve fen bilimleri (%18,36) alanlarında üretildiği görülmüştür. Tezlerin yaklaşık yarısı (%40,82) betimsel türdedir. Örneklem grupları farklı iş kollarında çalışanlardan oluşmasına rağmen en fazla ele alınan örneklem grubunun %30,62 oranıyla sağlık sektöründe çalışanlar olduğu görülmüştür. Tezlerin bölgelere göre dağılımı incelendiğinde Marmara Bölgesi (n: 15 %32,60) ilk sırada yer almaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda meslek hastalıkları konusunda

doğrudan daha fazla çalışma yapılması ve farklı iş kollarında daha fazla bilimsel bilgi üretilmesi önerilmektedir. Ayrıca meslek hastalıkları konusunda; çözüm stratejileri geliştiren, kanıt düzeyi yüksek çalışmalara ihtiyaç olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: iş sağlığı, işçi sağlığı, iş güvenliği, halk sağlığı, meslek hastalıkları

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF GRADUATE THESES PRODUCED ON OCCUPATIONAL DISEASES IN TURKEY

ABSTRACT

The aim of the study is to examine postgraduate theses on occupational diseases in Turkey. Bibliometric analysis method, one of the qualitative research designs, was used in the study. Data were filtered using the keywords “occupational disease” and “occupational diseases” in the National Thesis Center Database of the Council of Higher Education. The search was conducted by writing “all” in the search terms tab in the keyword database search section, “all” in the field to be searched, and “permissioned” in the permission status tab. No year limitation was applied during the search. Theses whose full texts could not be accessed from the National Thesis Center database of the Council of Higher Education on the date of the search, and which were literature, document, document, archive scans were not included in the review. A total of 49 theses were reached and these theses were examined within the scope of the study. The findings were coded under the titles of publication year, thesis type, main branch, research method, sample group, data collection tools, place of the research, and variables examined. The findings were presented by giving numbers and percentages. It was determined that theses were written between 1990-2023 and gained momentum since 2017, and the most studies were made in 2019 with a rate of 16.32%. It was seen that 79.6% of the theses were master's theses and were produced in the fields of health sciences (57.14%), social sciences (24.50%) and science (18.36%), respectively. Almost half of the theses (40.82%) were descriptive. Although the sample groups consisted of people working in different business lines, it was seen that the most studied sample group was those working in the health sector with a rate of 30.62%. When the distribution of theses by region was examined, the Marmara Region (n: 15 32.60%) was in the first place. In line with these results, it is recommended that more studies be conducted directly on occupational diseases and that more scientific information be produced in different business

lines. In addition, it was seen that there is a need for high-level evidence-based studies that develop solution strategies on occupational diseases.

Keywords: occupational health, occupational health, occupational safety, public health, occupational diseases

GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) iş sağlığını “tüm mesleklerde çalışanların fiziksel, zihinsel ve sosyal refahını en üst düzeyde geliştirmek ve sürdürmek için halk sağlığı alanındaki bir çalışma alanı” olarak tanımlamaktadır.¹ Aynı zamanda DSÖ; Dünya Sağlık Asamblesinde; iş sağlığı konusunda ulusal politika ve eylem planlarının geliştirilmesini, kurumsal kapasitelerin geliştirilmesini, işle ilgili hastalık ve kazaların önlenmesi, iş sağlığı hizmetlerine yönelik temel müdahalelerin kapsamının genişletilmesini, diğer ilgili ulusal sağlık programlarıyla işbirliği içinde çalışmaların yapılmasını tavsiye etmektedir.¹ Bu kapsamda meslek hastalıkları ele alınması gereken önemli bir iş sağlığı ve halk sağlığı sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. Çoğunluğu gelişmekte olan ülkelerde olmak üzere her yıl 12.2 milyon kişi hâlâ aktif çalışma çağındayken bulaşıcı olmayan hastalıklardan öldüğü belirtilmektedir. Yaralanmalar, gürültü, kanserojen maddeler, havadaki parçacıklar ve ergonomik riskler gibi belirli mesleki riskler, kronik mesleki hastalıkların yükünün önemli bir kısmını oluşturmaktadır (tüm sırt ağrısı vakalarının %37'si, işitme kaybının %16'sı, kronik obstrüktif vakaların %13'ü akciğer hastalığı, astımın %11'i, yaralanmaların %8'i, akciğer kanserinin %9'u, lösemisinin %2'si ve depresyonun %8'i).² Türkiye'deki ulusal hastalık yükü araştırmaları verilerine göre; 321.868 kas-iskelet sistemi rahatsızlığı, 79.232 ila 95.845 dolaşım sistemi hastalığı, 38.994 ila 56.992 kronik obstrüktif akciğer hastalığı, 14.563 ila 19.858 astım vakası, 29.550 işitme kaybı ve 4.902 ila 16.341 kanser vakasının işle ilgili olduğu tahmin edilmektedir.³ Tüm bu uluslararası ve ulusal veriler meslek hastalığına ilişkin mevcut sorunların ve beraberinde ortaya çıkabilecek sağlık risklerinin önemini ortaya koymaktadır. Nitekim Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamını temel bir ilke ve iş yerinde hak olarak tanımlamakla birlikte Haziran 2022'de Uluslararası Çalışma Konferansında (ILC), çalışma hayatındaki temel ilkeler ve haklar çerçevesine "güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamı" eklenmiştir.⁴

Meslek hastalıklarının önlenmesi, erken tanı ve teşhisi, toplumda farkındalığın artırılması gibi birçok konu ile ilgili iş sağlığı ve güvenliği alanında çözüm stratejilerinin geliştirebilmesi için ilk adım konu ile ilişkili sorunların ve nedenlerinin ortaya çıkarılmasıdır. Bu bağlamda iş sağlığı ve meslek hastalıkları ile ilgili literatür oldukça kapsamlıdır.^{1,5-7} Bu bilimsel bilgi kaynaklarının arasında lisansüstü tezler, sorunların derinlemesine ele alınması, çözüm önerilerinin getirilmesi ile hem uygulamaya dönük hem de alan yazına yönelik katkılar sağlayan zengin ve kapsamlı bilgi kaynaklarıdır.

Bu çalışma Türkiye'de meslek hastalıkları konusunda gerçekleştirilen lisansüstü tezlerin incelenmesi amacıyla planlanmıştır.

MATERYAL

Çalışmanın Deseni

Çalışmada nitel araştırma desenlerinden bibliyometrik analiz yöntemi kullanılmıştır.

Evren ve Örneklem

Çalışmanın evrenini meslek hastalıkları konusunu İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dallarında üretilen Yüksek Öğretim Kurumu'nun (YÖK) internet sitesinde yayınlanmış tüm tezler oluşturmuştur. Bu kapsamda 1990 ile 2024 yılları arasında yayınlanan toplam 132 tez, araştırmanın evrenini oluşturmuştur. YÖK tez merkezinde erişim izni olan ve araştırmanın dâhil edilme kriterlerini karşılayan toplam 49 tez çalışması örnekleme oluşturmuştur.

Araştırmaya Dahil Edilme ve Dahil Edilmeme Ölçütleri

Araştırmaya;

- Meslek hastalıkları konusunu kapsayan,
- Örneklem grubu çalışan/işçileri kapsayan,
- YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanında yazarlar tarafından izinli olarak sisteme girilen ve tam metnine ulaşılabilen tezler incelemeye dâhil edilmiştir.

Araştırmaya;

- Literatür, belge, doküman, arşiv taraması olan tezler dâhil edilmemiştir.

Tarama Stratejisi ve Verilerin Kodlanması

Meslek hastalıkları konusunda üretilen tezler YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanında incelenmiştir. Tez taraması 15 Mart 2024 - 30 Nisan 2024 tarihleri arasında detaylı tarama alanından yapılmıştır. Detaylı tarama bölümünde öncelikle Ana Bilim Dalı olarak “İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı” ve “Disiplinler arası İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı” filtrelenmiştir. Ardından tez adı bölümünde anahtar kelime olarak “meslek hastalığı” ve “meslek hastalıkları” kelimeleri kullanılmıştır. Tarama yapılırken yıl sınırlaması yapılmamıştır.

Değerlendirme Süreci

Elde edilen veriler dokuz kategori altında incelenmiştir. Bu kategoriler; yayın yılı, tezin türü, ana bilim dalı, araştırma yöntemi, örneklem grubunun özelliği, veri toplama araçları, araştırmanın gerçekleştirildiği yer, incelenen değişkenler olarak adlandırılmıştır. Elde edilen veriler Excel formuna kaydedilmiş, sayı ve yüzde ile ifade edilmiştir.

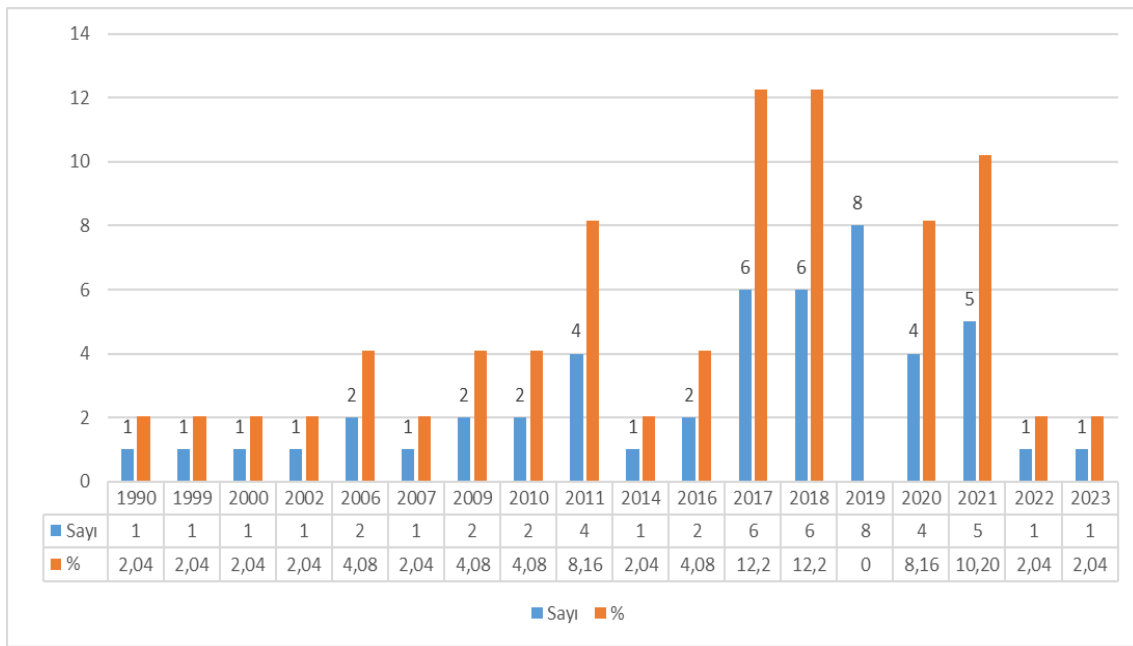
Etik Açıklama

Yüksek Öğretim Kurumu Ulusal Tez merkezindeki tezler kamuya açık ve herkes tarafından erişilebilirdir. Bununla birlikte çalışmaya erişim izni olan tezler alınmıştır. Bu nedenlerden dolayı etik kurul izni alınmamıştır.

BULGULAR

Tezlerin yıllara göre dağılımı göre incelendiğinde 1990 ve 2023 yılları arasında gerçekleştirildiği görülmektedir. Doğrudan işçi sağlığına yönelik meslek hastalıkları konusunda üretilen tezlerin 2017 yılından itibaren ivme kazandığı, en çok çalışmanın %16.32 oranla 2019 yılında gerçekleştirildiği, son iki yılda azaldığı saptanmıştır (Grafik 3.1).

Şekil 3.1. Meslek Hastalıkları Konusunda Üretilen Tezlerin Yıllara Göre Dağılımı (n=49)



Tezlerin türüne göre dağılımları incelendiğinde; sırayla %79.6'sının yüksek lisans tez çalışması, %10.2'sinin doktora, %10.2'sinin tıpta uzmanlık tezi olduğu görülmüştür (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Meslek Hastalıkları Konusunda Üretilen Tezlerin Türlerine Göre Dağılımı (n=49)

Tez Türü	Sayı	%
Yüksek Lisans	39	79.60
Doktora	5	10.20
Tıpta Uzmanlık	5	10.20
Toplam	49	100.0

Tezlerin ana bilim dallarına göre genel olarak dağılımları incelendiğinde; sırayla sağlık bilimleri (%57.14), sosyal bilimler (%24.50) ve fen bilimleri (%18.36) alanlarında üretildiği görülmektedir. Ana bilim dalları özel olarak incelendiğinde ise işçi sağlığına yönelik meslek hastalığı konusundaki tezlerin %18.37 oranla en fazla “İş Sağlığı ve Güvenliği” ana bilim dalında gerçekleştirildiği görülmektedir. Bununla birlikte isim farklılıkları olsa da aynı oda noktasında olan ve en fazla tezin üretildiği diğer ana bilim dalı da “İşçi Sağlığı ve İş Güvenliğidir. Diğer temel alanlar incelendiğinde ise Sosyal Bilimler alanında en çok tezin Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri (%10.20), Fen Bilimleri alanında ise aynı oranlarda mühendislik ile ilgili ana bilim dallarında üretildiği görülmüştür (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Meslek Hastalıkları Konusunda Üretilen Tezlerin Ana Bilim Dalına Göre Dağılımı (n=49)

Alan	Ana Bilim Dalı	Sayı	%
Sağlık Bilimleri (n=28 %=57.14)	İş Sağlığı ve Güvenliği	9	18.37
	Halk Sağlığı	5	10.20
	İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği	5	10.20
	Aile Hekimliği	3	6.13
	Sağlık Yönetimi	2	4.08
	Protetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı	1	2.04
	Hemşirelik	1	2.04
	Hastane ve Sağlık Kuruluşlarında Yönetim	1	2.04
	Oral Diagnoz ve Radyoloji	1	2.04
Sosyal Bilimler (n=12 %=24.50)	Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri	5	10.20
	İşletme	2	4.08
	İşletme Yönetimi	1	2.04
	Çalışma Ekonomisi	1	2.04
	Uluslararası Ticaret ve Lojistik	1	2.04
	Güzel Sanatlar Eğitimi	1	2.04
	Sosyal Hizmet	1	2.04
Fen Bilimleri	Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması	1	2.04

(n=9 %=18.36)	Giyim Endüstrisi ve Giyim Sanatları	1	2.04
	Makine Eğitimi	1	2.04
	Maden Mühendisliği	1	2.04
	Endüstri Mühendisliği	1	2.04
	Enerji Sistemleri Mühendisliği	1	2.04
	Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği	1	2.04
	Tarım Makineleri	1	2.04
	Zootekni	1	2.04
Toplam		49	100.00

Tezlerde kullanılan araştırma deseni incelendiğinde toplamda on farklı araştırma tipi görülmektedir. Tezlerin neredeyse yarısına yakının (%40.82) tanımlayıcı tipte araştırma deseni kullanılarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Bununla birlikte tarama modeli (%16.32) ve ilişki arayıcı kesitsel (%26.54) çalışmalarında ilk sıralarda yer aldığı görülmüştür. Deneysel araştırma deseni açısından incelendiğinde yarı deneysel tipte bir tezin olduğu görülmüştür. Nicel araştırma türlerinden farklı olarak %6.12 oranında nitel araştırma deseni kullanıldığı görülmüştür (Tablo 3.3).

Tablo 3.3. Meslek Hastalıkları Konusunda Üretilen Tezlerin Araştırma Desenine Göre Dağılımı (n=49)

Araştırma Deseni/Tipi	Sayı	%
Tanımlayıcı	20	40.82
Tarama modeli	8	16.32
Tanımlayıcı ve Kesitsel	7	14.30
Kesitsel	6	12.24
Nitel	3	6.12
Vaka-Kontrol	1	2.04
Karma Yöntem (Tanımlayıcı ve Nitel)	1	2.04
Retrospektif	1	2.04
Yarı Deneysel (Tek Grup Ön test-Son test)	1	2.04
Gözlemsel, Tanımlayıcı, Kesitsel tipte	1	2.04
Toplam	49	100.0

Çalışmada, 24 farklı örneklem grubu ile tezlerin gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu dağılım incelendiğinde sağlık sektörü çalışanlarının (%30.62) ilk sırada yer aldığı, ardından meslek hastalığı tanısı olan bireylerin (%10.20) ve hazır giyim/tekstil sektöründe çalışanların (%6.13) olduğu görülmektedir. Diğer örneklem gruplarının ise aynı oranda farklı iş kollarında çalışanlardan oluştuğu saptanmıştır (Tablo 3.4).

Tablo 3.4. Meslek Hastalıkları Konusunda Üretilen Tezlerin Örneklem Grubunun Özelliğine Göre Dağılımı (n=49)

Örneklem Grubunun Özelliği	Sayı	%
Sağlık Sektörü Çalışanları	15	30.62
Meslek Hastalığı Tanısı ile Tedavi Olan Bireyler	5	10.20
Hazır Giyim/Tekstil Sektöründe Çalışan Yönetici ve/veya İşçiler	3	6.13
Demiryolu İshkolunda Yönetici ve Çalışanlar	2	4.08
Kömür Madeninde Farklı Kollarda Çalışan İşçiler	2	4.08
Elektrik Dağıtım Sektöründe Çalışan İşçiler	2	4.08
Metal Sektörü Yönetici ve/veya Çalışanları	2	4.08
Üniversite Öğrencileri	2	4.08
Otobüs şoförleri	1	2.04
Kot kumlama işçileri	1	2.04
Hastanede Çalışan Temizlik İşçileri	1	2.04
Termik Santrallerde Çalışan İşçiler	1	2.04
Gemi Söküm Alanında Ofiste ve Diğer İş Kollarında Çalışan İşçiler	1	2.04
Linyit Ocağında Çalışan İşçiler	1	2.04
Hava Savunma Sınıfında Görevli Erler	1	2.04
Karma Yem Üretimi Sektöründe Çalışan İşçiler	1	2.04
Senfoni Orkestrası Sanatçıları	1	2.04
Havacılık Sektörü Yer Hizmetleri Çalışanlar	1	2.04
Mobilya Endüstrisinde Çalışan Ustabaşı ve İşçiler	1	2.04
İnşaat Sektöründe Çalışan İşçiler	1	2.04

Petrol İş Sendikası Üyeleri (Akaryakıt dağıtım , Akü imalatı Boru hattı taşımacılığı , İlaç imalatı , Kauçuk ve plastik, Kimya imalatı, Kompozit imalatı, Petrol ve doğalgaz üretimi işçileri)	1	2.04
Tarım Makinesi İmalat Sektörü Çalışanları	1	2.04
Lojistik Sektöründe Çalışanlar	1	2.04
İş Güvenliği Uzmanı	1	2.04
Toplam	49	100.00

İncelemeler sonucunda tezlerde veri toplama aracı olarak; anket formu, anamnez, muayene formu, laboratuvar bulguları ölçek olmak üzere farklı araçların kullanıldığı görülmüştür. Bu veri toplama araçlarının bazı çalışmalarda karma bir şekilde de kullanıldığı görülmüştür. Veri toplama araçları olarak ilk üç sırada anket formu (%69.40), anket formu ve yarı yapılandırılmış görüşme formu (%10.20) ve anket formu, anamnez, muayene formu laboratuvar bulguları (%4.08) yer almaktadır. Ölçek kullanımının ise aynı oranlarda olduğu ve kullanılan ölçeklerin arasında; “*Hastanede Çalışan Sağlık Personeli İçin İş Güvenliği Ölçeği*”, “*İş Tatmini Ölçeği*”, “*Beck Depresyon Ölçeği*”, “*KOPSOR Psikososyal Risk Ölçeği*”, “*Minnesota Doyum Ölçeği*”, “*Maslach Tükenmişlik Ölçeği*” yer aldığı görülmektedir (Tablo 3.5).

Tablo 3.5. Meslek Hastalıkları Konusunda Üretilen Tezlerin Veri Toplama Araçlarına Göre Dağılımı (n=49)

Veri Toplama Araçları	Sayı	%
Anket Formu	34	69.40
Anket Formu ve Yarı Yapılandırılmış Görüşme Formu	5	10.20
Anket Formu, Anamnez, Muayene Formu Laboratuvar Bulguları	2	4.08
Anket Formu ve Hastanede çalışan sağlık personeli için iş güvenliği ölçeği	2	4.08
Anket Formu, Meslek Hastalığı Ölçeği, İş Tatmini Ölçeği	1	2.04
Gürültü Seviyesi Ölçümü, İşitme Testi, Toz Ölçümleri	1	2.04
Anket Formu ve Risk Analizi	1	2.04
Anket Formu ve Beck Depresyon Ölçeği	1	2.04
Anket Formu ve KOPSOR Psikososyal Risk ölçeği	1	2.04
Anket formu Minnesota Doyum Ölçeği Maslach Tükenmişlik Ölçeği	1	2.04

Toplam	49	100
---------------	-----------	------------

Meslek hastalıkları konusunda üretilen tezlerin bölgelere göre dağılımı incelendiğinde sırayla; Marmara Bölgesi (n:15 %32.60), İç Anadolu Bölgesi i (n:12 %:26.08), Ege Bölgesi (n:8 %17.40), Akdeniz Bölgesi (n:5 %10.80) ve Güneydoğu Anadolu, Karadeniz, Doğu Anadolu Bölgesi verilerinin aynı oranlarda olduğu görülmüştür (n:2 %4.35) (Şekil 3.1).

Şekil 3.2. Meslek Hastalıkları Konusunda Üretilen Tezlerin Araştırmanın Gerçekleştirildiği Bölgeye Göre Dağılımı (n=46)*



*Taranan tezlerden 1 tanesi Türkiye genelinde farklı illerde, ikisi ise şehir belirtmediği için bu Şekil 2’de belirtilmemiştir

Tezlerde incelenen değişkenlerin eğilimlerine bakıldığında ilk üç sırada; iş Kazaları ve/veya meslek hastalık sıklığı (%18.37), meslek hastalıkları ve/veya iş kazaları konusunda bilgi, farkındalık ve tutum düzeyleri (%18.37), iş kazası ve meslek hastalıkları ile ilişkili etmenler (%8.16) olduğu görülmektedir. Bununla birlikte diğer değişkenlerin meslek hastalıkları ile ilişkili olan, bilgi düzeyi gibi bireysel değişkenlerin, gürültü, toz gibi fiziksel etkenlerin, hukuki süreç, akreditasyon gibi mevzuatla ilgili değişkenlerin olduğu görülmektedir (Tablo 3.6).

Tablo 3.6. Meslek Hastalıkları Konusunda Üretilen Tezlerin İncelenen Değişkenlere Göre Dağılımı (n=49)

İncelenen Değişkenler	Sayı	%
İş Kazaları ve/veya Meslek Hastalık Sıklığı	9	18.37
Meslek Hastalıkları ve/veya İş Kazaları Konusunda Bilgi, Farkındalık ve Tutum Düzeyleri	5	10.20
İş Kazası ve Meslek Hastalıkları İle İlişkili Etmenler	4	8.16
Meslek Hastalıklarına Yaklaşım	2	4.08
Gürültü, Toz, Kimyasallar ve Meslek Hastalığı	1	2.04
İş Doyumu, Tükenmişlik ve Meslek Hastalıkları Arasındaki İlişki	1	2.04
İş Güvenliği ve Meslek Hastalıkları	1	2.04
İş Güvenliği ve Meslek Hastalıklarının Hastane Güvenliği Üzerine Etkileri	1	2.04
İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları Konusunda Bilinç Düzeyi	1	2.04
İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları Riski	1	2.04
İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları Sıklığı İle İş Sağlığı ve Güvenliği	1	2.04
İş Kazaları ve Meslek Hastalıklarının Üretim Ve Kaliteye Etkisi	1	2.04
İş Kazası ve Meslek Hastalığı Geçirenlerde Depresyon, İşe Yabancılaşma Ve Gelecek Beklentisi	1	2.04
İş Kazası ve Meslek Hastalıkları İle Çalışma Koşulları İlişkisi	1	2.04
İş Kazası ve Meslek Hastalıkları İle Yorgunluk İlişkisi	1	2.04
İş Kazası ve Meslek Hastalıklarına Neden Olan Psikososyal Etmenler	1	2.04
İş Kazası ve Meslek Hastalıklarının Nedenleri	1	2.04
İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitiminin İş Kazaları Ve Meslek Hastalıkları Farkındalık Düzeyine Etkisi	1	2.04
İş Kazası, Meslek Hastalıkları ve Yasal Önlemler	1	2.04
İş Sağlığı ve İş Güvenliği Bilinci İle Meslek Hastalıklarına Yakalanma Risk Bilgisi	1	2.04

İşçilerin Sağlık Durumları ve Meslek Hastalığı Farkındalıkları	1	2.04
Kalite Yönetim Sistemi İle İş Sağlığı ve İşçi Güvenliği Yönetim Sisteminin İş Kazası Ve Meslek Hastalıklarına Etkisi	1	2.04
Madencilikte Toz ve Gürültüye Bağlı Meslek Hastalıkları	1	2.04
Meslek Hastalığı Şüphesi İle Psikososyal Risk Durumları	1	2.04
Meslek Hastalığı Tanısı Almış Kişilerin Tanı Öncesi, Tanı ve Tanı Sonrası Süreçlerdeki Duygu, Düşünce, Gözlem ve Deneyimleri	1	2.04
Meslek Hastalığına Yakalanma Riski İle İş Tatmini Arasındaki İlişki	1	2.04
Meslek Hastalığının Psikososyal Boyutları	1	2.04
Meslek Hastalıkları Konusunda Bilgi Düzeyi ve Etkileyen Faktörler	1	2.04
Meslek Hastalıkları ve Nedenleri	1	2.04
Meslek Hastalıklarının Tıbbi ve Hukuki Süreci	1	2.04
Metal İntoksikasyonları ve Ağız Sağlığı	1	2.04
Silikozis Hastalarının Çalışma Koşulları ve Deneyimleri	1	2.04
Uluslararası Akreditasyon, İş Sağlığı ve İş Güvenliği	1	2.04
Toplam	49	100.00

TARTIŞMA

Bu proje kapsamında örneklem grubu çalışan/işçileri kapsayan toplam 49 tez incelenmiştir. Bu konuda ilk tezin 1990 yılında ve en çok çalışmanın 2019 yılında üretildiği görülmüştür. Bu tarihsel süreçte 20.06.2012 tarih ve 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun etkili olabilecek en önemli ulusal gelişmelerden biri sayılabilir. Nitekim kanun, iş sağlığı ve güvenliği konusunda, temel anlayış olarak önleyici sağlık ve güvenlik hizmetleri üzerinde durmuş, risklerin kaynağında yok edilmesini hedeflemiş, işverenlere bu konuda gerekli önlemleri alma sorumluluğu yüklemiştir.⁸ Bu yönüyle iş sağlığı ve güvenliği alanında önemli bir yer tutan meslek hastalıklarına ilişkin bilimsel bilginin üretilmesi çözüm stratejileri için temel adımlardan biri olmalıdır. Ancak incelenen tezlere bu yönüyle bakıldığında nicelik olarak sınırlı olduğu düşünülmektedir. Bu sınırlılıklardan bir diğerinin de meslek hastalıkları konusunda üretilen tezlerin türüne ve kullanılan araştırma desenine yansıdığı görülmüştür. Bu çalışmada da tezlerin büyük bir oranının işçilere yönelik meslek hastalıklarına ait sorunları ortaya koyan yüksek lisans düzeyinde ve tanımlayıcı, kesitsel, karma yöntemleri içerdiği görülmektedir. Halk sağlığı açısından bakıldığında sorunların ortaya konması için tanımlayıcı çalışmalar oldukça önemli bir noktadadır. Ancak günümüzde meslek hastalıklarının nedenleri bilinmekle birlikte bu hastalıklar dünya çapında iş kaynaklı ölümlerin büyük oranda nedenidir.⁹ Literatürde son yıllarda meslek hastalıklarının; erken tanınması, önlenmesi ve tedavi edilmesine ilişkin çalışmaların arttığı görülmektedir.^{10,11} Bu çalışmada ise incelenen tezlerden sadece bir tezin iş

sağlığı ve güvenliği konusunda farkındalığı artırmak amacıyla yarı deneysel planda tasarlandığı görülmüştür. Bu bağlamda meslek hastalıkları konusunda çözüm stratejilerine yönelik bilimsel bilginin üretilmesine ihtiyaç olduğu söylenebilir.

Tezlerin en çok üretildiği bilim alanları sırayla sağlık, sosyal ve fen bilimleridir. Meslek hastalıklarının birçok disiplinle ilgili olmasıyla birlikte temelde sağlık alanında ele alınan bir konu olması nedeniyle bu bulgunun beklenen bir sonuç olduğu söylenebilir. Nitekim DSÖ İş sağlığını; tüm mesleklerde çalışanların fiziksel, zihinsel ve sosyal refahını en üst düzeyde geliştirmek ve sürdürmek için halk sağlığı alanındaki bir çalışma alanı olarak tanımlarken bu alanın; iş sağlığı bilimi ve uygulaması, iş hekimliği, hemşirelik, ergonomi, psikoloji, hijyen, güvenlik ve diğerleri gibi çeşitli disiplinleri alanı olduğunu vurgulamaktadır.¹ Bu çalışmada da; meslek hastalığı konusunun iş sağlığı ve güvenliği, halk sağlığı, tıp, hemşirelik, mühendislik, çalışma ekonomisi gibi farklı ana bilim dallarını kapsayan geniş bir yelpazede ele alındığı görülmüştür.

Bu çalışmada örneklem grubu çalışan/işçileri kapsayan tezler incelenmiştir. Bu örneklem grupları arasında sağlık sektörü çalışanları ilk sırada yer almıştır. Sağlık sektörü dünyada ve ülkemizde en çok istihdam oranlarının olduğu hizmet sektörü arasında başta gelmektedir. Nitekim Türkiye İstatistik Kurumu 2023 yılı verilerine göre istihdam edilenlerin %57.6'sının hizmet sektöründedir.¹² Diğer örneklem grupları incelendiğinde ise çok farklı iş kollarından gruplar seçildiği, bunların arasında yine ülkemiz istihdam alanları ile paralel tarım, tekstil, demiryolu, kömür ocakları işçilerinin olduğu söylenebilir. Örneklem gruplarının arasında senfoni orkestrası sanatçıları, havacılık sektörü çalışanları gibi dikkat çeken iş kollarına ait örneklemelerin çalışıldığı söylenebilir. Örneklem gruplarının geneli için sağlık sektörü dışında, diğer iş kollarına ait örneklemeler açısından oldukça sınırlı çalışmaların olduğu söylenebilir.

Tezlerde kullanılan veri toplama araçlarının büyük bir çoğunluğunun araştırmacılar tarafından geliştirilen anket formlarından oluştuğu görülmüştür. Standart bilgi üretiminde önemli bir araç olan ölçeklerin ise daha az kullanıldığı görülmüştür. Meslek hastalıkları konusunda oldukça önemli bir veri aracı olan anamnez, muayene formu laboratuvar bulgularının da daha az oranlarda kullanıldığı görülmüştür. Ölçüm araçlarının farklılığında elbette tezlerin konusu, amacı ve incelenen değişkenlerin belirleyici olduğu söylenebilir. Nitekim bu çalışmada tezlerde incelenen değişkenlerin; iş kazaları ve/veya meslek hastalık sıklığı, meslek hastalıkları ve/veya iş kazaları konusunda bilgi, farkındalık ve tutum düzeyleri, iş kazası ve meslek hastalıkları ile ilişkili etmenler, bilgi düzeyi, gürültü, toz, hukuki süreç, akreditasyon gibi oldukça farklı parametrelerin olduğu görülmüştür. Sonuç olarak önemli bir halk sağlığı konusu olan meslek hastalıklarının farklı meslek gruplarında farklı değişkenlerde incelenmesi o konuya özgü veri aracı kullanımını gerektirdiği söylenebilir.

Tezlerin bölgelere göre dağılımı incelendiğinde sırayla; Marmara Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi, Ege Bölgesi, Akdeniz Bölgesi, Güneydoğu Anadolu, Karadeniz, Doğu Anadolu Bölgesinde gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu durumun istihdam oranlarının, kent nüfuslarının ve sanayi işletmelerinin dağılımı ile ilgili olduğu söylenebilir. TÜİK verilerine göre; en yüksek istihdam oranları Tekirdağ, Edirne, Kırklareli illerinde iken en düşük istihdam oranları Mardin, Batman, Şırnak, Siirt illerindedir.¹² Bir başka rapor da sanayi işletmelerinin sırayla; Marmara, İç

Anadolu, Ege, Akdeniz, Karadeniz, Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu Bölgesinde yer aldığı belirtilmektedir.¹³ Tüm bu veriler ışığında araştırmamızda incelen tezlerin bölgelere dağılımı açısından paralel olduğu söylenebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yapılan incelemeler doğrultusunda; meslek hastalıkları konusunda çalışan/işçileri kapsayan tezlerin 1990 ve 2023 yılları arasında gerçekleştirildiği ve en çok çalışmanın 2019 yılında gerçekleştirildiği, çoğunluğunun yüksek lisans türünde, tanımlayıcı tipte ve sağlık bilim dalında ve Marmara bölgesinde üretildiği görülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların meslek hastalıkları konusunda gelecekte yapılacak bilimsel çalışmalara kaynak olabileceği düşünülmektedir.

Bu sonuçlar doğrultusunda doğrudan çalışanları kapsayan meslek hastalığı konusunda farklı iş kollarında daha fazla bilimsel bilgi üretilmesi önerilir. Bununla birlikte meslek hastalığına yönelik; çözüm odaklı deneysel çalışmalara ihtiyaç olduğu görülmüştür. Öte yandan bilgi, farkındalık ve tutum çalışmalarının yanı sıra meslek hastalıklarının önlenmesine yönelik kanıt düzeyi yüksek çalışmalara ihtiyaç olduğu da görülmektedir. Özellikle Türkiye'nin istihdam alanları açısından ele alındığında tarım, sanayi, inşaat ve hizmet sektörlerinde çalışanlara yönelik çalışmaların sayısının artırılması alan yazına katkı sağlayacaktır.

Son olarak meslek hastalıklarının tıbbi bir tanı olmanın ötesinde, çalışanın, ailesinin ve tüm toplumun sağlığını etkileyen bir halk sağlığı meselesi olduğunu vurgulayan konuyu bütüncül boyutlarıyla ele alan çalışmalara yer verilmesi önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

1. World Health Organization (WHO). Occupational Health. Available from: <https://www.who.int/health-topics/occupational-health>. Accessed: March 2024.
2. World Health Organization (WHO). Protecting workers health Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/protecting-workers'-health>. Accessed: March 2024.
3. Kalaycı D, Alagüney ME, Yıldız AN. The Estimated Number of Occupational Diseases and Work-Related Diseases in Turkey. Acta Medica. 2019;50(3):17-24.
4. International labour Organization (ILO). World Day for Safety and Health at Work 2023. Available from: <https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/events-training/events-meetings/safeday2023/lang--en/index.htm>. Accessed: March 2024.
5. Çımrın AH, Bahadır H, Kaya İ. Türkiye’de Çalışan Olarak Vasıfsızlık; Meslek Hastalığı Bağlamında İş, İşyeri ve Toplumsal Yaşama Ait Kavrayışlar. Çalışma ve Toplum, 2023;1(76): 183-210.

6. Keshmiri F, Mehrparvar AH. Development of an interprofessional task-based learning program in the field of occupational health: a content validity study. *BMC Med Educ.* 2023;23(1): 11.
7. Ringen K, Dement J, Welch L, Quinn P. How much have adverse occupational health outcomes among construction workers improved over time? Evidence from 25 years of medical screening. *Am J Ind Med.* 2023;66(1):18-29.
8. Korkmaz A, Avsallı H. Çalışma hayatında yeni bir dönem: 6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği yasası. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Sosyal Bilimler Dergisi. 2012(26): 153-167, 2012.
9. Pega F, Al-Emam R, Cao B, Davis C, Edwards S, Gagliardi D. New global indicator for workers' health: mortality rate from diseases attributable to selected occupational risk factors. *Bull. World Health Organ.* 2023;101(6), 418–430.
10. Mishra S, Gandhi D, Tiwari RR, Rajasekaran S. Beneficial role of kaempferol and its derivatives from different plant sources on respiratory diseases in experimental models”. *Inflammopharmacol.* 2023; 31: 2311–2336.
11. Zhang H, Han W, Xu Y, Wang Z. Analysis on the development status of coal mine dust disaster prevention technology in China. *J. Healthc. Eng.,* 2021; 1-9.
12. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). İşgücü İstatistikleri. Available from: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Isgucu-Istatistikleri-2023> Accessed: March 2024.
13. Türkiye Cumhuriyeti Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü “81 İl Sanayi Durum Raporu 2017”. Available from: <https://www.sanayi.gov.tr/plan-program-raporlar-ve-yayinlar/81-il-sanayi-durum-raporlari>. Accessed: March 2024.

OTİZM SPEKTRUM BOZUKLUĞU VE STİGMA ÜZERİNE BİBLİYOMETRİK BİR ANALİZ: ARAŞTIRMA EĞİLİMLERİ VE ÖRÜNTÜLER

Uzm. Buket TAN YAVUZ

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Çocuk Gelişimi Doktora Programı Öğrencisi
bukettan1997@gmail.com- Orcid: 0000-0002-4809-5366

Uzm. Polen ÇINGİLOĞLU

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Çocuk Gelişimi Doktora Programı Öğrencisi
polencngoglu@gmail.com, Orcid: 0000-0002-4664-4704

Prof. Dr. Figen GÜR SOY

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Çocuk Gelişimi Anabilim Dalı
gursoy.f@gmail.com, Orcid: 0000-0002-6199-4024

ÖZET

Bu çalışmada otizm spektrum bozukluğunda stigma ile ilgili akademik literatürdeki eğilimleri analiz etmek için bibliyometrik analizden yararlanılmıştır. Belgeler, Web of Science(WoS) veri tabanından sistematik bir şekilde alınmış ve arama stratejisi olarak “autism” OR “autism spectrum disorder” AND “stigma” anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Belirlenen anahtar kelimelerin Web of Science (WoS) veri tabanında taratılması ile toplam 965 belgeye ulaşılmıştır. Yayın sayısının zaman içinde eğilimlerinde sürekli olarak bir artış gözlemlenmiştir. Web of Science(WoS) veri tabanında bu çalışmaların yayın yılları en eski 1993 tarihinde; en yeni 2024 tarihinde olduğu görülmektedir. Arama stratejisi kapsamında dahil etme kriterleri ise “İngilizce” ve “makale” türündeki belgeler olarak belirlenmiştir. Dahil tutma kriterleriyle uygulandığında ise elde edilen 807 makale üzerinden analizler yürütülmüştür. Veri analizinde, RStudio programı ve bir R uygulaması olan “biblioshiny” aracı kullanılmıştır. Her makale dergi, yazar, atıf, ülke, anahtar kelimeler ve konular açısından değerlendirilmiştir. Bulgular, “betimsel analizler”, “kavramsal yapı”, “entelektüel yapı” ve “sosyal yapı” başlıkları altında analiz edilerek değerlendirilmiştir. Bu alanda en üretken ülke, yazar, merkez ve dergi gibi analiz sonucundaki bulgulara, uygulamaların en sıcak konuları ve öncü eğilimlere kongrede yer verilecek ve sistematik bir biçimde tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler : otizm, otizm spektrum bozuklukları, stigma

A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF STIGMA IN AUTISM SPECTRUM DISORDER: TRENDS AND PATTERNS IN RESEARCH

Uzm. Buket TAN YAVUZ

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Çocuk Gelişimi Doktora Programı Öğrencisi
bukettan1997@gmail.com- Orcid: 0000-0002-4809-5366

Uzm. Polen ÇINGİLOĞLU

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Çocuk Gelişimi Doktora Programı Öğrencisi
polencngoglu@gmail.com, Orcid: 0000-0002-4664-4704

Prof. Dr. Figen GÜRİSOY

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Çocuk Gelişimi Anabilim Dalı
gursoy.f@gmail.com, Orcid: 0000-0002-6199-4024

ABSTRACT

In this study, bibliometric analysis was used to analyse trends in the academic literature on stigma in autism spectrum disorder. Documents were systematically retrieved from the Web of Science (WoS) database and the keywords ‘autism’ OR ‘autism spectrum disorder’ AND ‘stigma’ were used as search strategies. A total of 965 documents were reached by searching the identified keywords in the Web of Science (WoS) database. A continuous increase was observed in the trends of the number of publications over time. In the Web of Science (WoS) database, the publication years of these studies are the oldest in 1993 and the newest in 2024. Within the scope of the search strategy, the inclusion criteria were determined as ‘English’ and ‘article’ type documents. When applied with the inclusion criteria, analyses were conducted on 807 articles obtained. RStudio programme and ‘biblioshiny’ tool, an R application, were used in data analysis. Each article was analysed in terms of journal, author, citation, country, keywords and topics. The findings were analysed and evaluated under the headings of ‘descriptive analyses’, ‘conceptual structure’, ‘intellectual structure’ and ‘social structure’. The findings of the analysis, such as the most productive countries, authors, centres and journals in this field, the hottest topics of the applications and the leading trends will be included in the congress and will be discussed systematically.

Keywords: Autism, autism spectrum disorder, stigma

OTİZM SPEKTRUM BOZUKLUĞU VE STİGMA ÜZERİNE BİBLİYOMETRİK BİR ANALİZ: ARAŞTIRMA EĞİLİMLERİ VE ÖRÜNTÜLER

Uzm. Buket TAN YAVUZ

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Çocuk Gelişimi Doktora Programı Öğrencisi
bukettan1997@gmail.com- Orcid: 0000-0002-4809-5366

Uzm. Polen ÇINGİLOĞLU

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Çocuk Gelişimi Doktora Programı Öğrencisi
polencngoglu@gmail.com, Orcid: 0000-0002-4664-4704

Prof. Dr. Figen GÜRİSOY

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Çocuk Gelişimi Anabilim Dalı
gursoy.f@gmail.com, Orcid: 0000-0002-6199-4024

ÖZET

Bu çalışmada otizm spektrum bozukluğunda stigma ile ilgili akademik literatürdeki eğilimleri analiz etmek için bibliyometrik analizden yararlanılmıştır. Belgeler, Web of Science(WoS) veri tabanından sistematik bir şekilde alınmış ve arama stratejisi olarak “autism” OR “autism spectrum disorder” AND “stigma” anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Belirlenen anahtar kelimelerin Web of Science (WoS) veri tabanında taratılması ile toplam 965 belgeye ulaşılmıştır. Yayın sayısının zaman içinde eğilimlerinde sürekli olarak bir artış gözlemlenmiştir. Web of Science(WoS) veri tabanında bu çalışmaların yayın yılları en eski 1993 tarihinde; en yeni 2024 tarihinde olduğu görülmektedir. Arama stratejisi kapsamında dahil etme kriterleri ise “İngilizce” ve “makale” türündeki belgeler olarak belirlenmiştir. Dahil tutma kriterleriyle uygulandığında ise elde edilen 807 makale üzerinden analizler yürütülmüştür. Veri analizinde, RStudio programı ve bir R uygulaması olan “biblioshiny” aracı kullanılmıştır. Her makale dergi, yazar, atıf, ülke, anahtar kelimeler ve konular açısından değerlendirilmiştir. Bulgular, “betimsel analizler”, “kavramsal yapı”, “entelektüel yapı” ve “sosyal yapı” başlıkları altında analiz edilerek değerlendirilmiştir. Bu alanda en üretken ülke, yazar, merkez ve dergi gibi analiz sonucundaki bulgulara, uygulamaların en sıcak konuları ve öncü eğilimlere kongrede yer verilecek ve sistematik bir biçimde tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler : otizm, otizm spektrum bozuklukları, stigma

A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF STIGMA IN AUTISM SPECTRUM DISORDER: TRENDS AND PATTERNS IN RESEARCH

Uzm. Buket TAN YAVUZ

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Çocuk Gelişimi Doktora Programı Öğrencisi
bukettan1997@gmail.com- Orcid: 0000-0002-4809-5366

Uzm. Polen ÇINGİLOĞLU

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Çocuk Gelişimi Doktora Programı Öğrencisi
polencngoglu@gmail.com, Orcid: 0000-0002-4664-4704

Prof. Dr. Figen GÜRSOY

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Çocuk Gelişimi Anabilim Dalı
gursoy.f@gmail.com, Orcid: 0000-0002-6199-4024

ABSTRACT

In this study, bibliometric analysis was used to analyse trends in the academic literature on stigma in autism spectrum disorder. Documents were systematically retrieved from the Web of Science (WoS) database and the keywords ‘autism’ OR ‘autism spectrum disorder’ AND ‘stigma’ were used as search strategies. A total of 965 documents were reached by searching the identified keywords in the Web of Science (WoS) database. A continuous increase was observed in the trends of the number of publications over time. In the Web of Science (WoS) database, the publication years of these studies are the oldest in 1993 and the newest in 2024. Within the scope of the search strategy, the inclusion criteria were determined as ‘English’ and ‘article’ type documents. When applied with the inclusion criteria, analyses were conducted on 807 articles obtained. RStudio programme and ‘biblioshiny’ tool, an R application, were used in data analysis. Each article was analysed in terms of journal, author, citation, country, keywords and topics. The findings were analysed and evaluated under the headings of ‘descriptive analyses’, ‘conceptual structure’, ‘intellectual structure’ and ‘social structure’. The findings of the analysis, such as the most productive countries, authors, centres and journals in this field, the hottest topics of the applications and the leading trends will be included in the congress and will be discussed systematically.

Keywords: Autism, autism spectrum disorder, stigma

1. GİRİŞ

Nörogelişimsel bir bozukluk olarak sınıflandırılan Otizm Spektrum Bozukluğu(OSB) tanısının temel özellikleri; sınırlı sosyal iletişim ve etkileşim ve stereotipik hareketlerdir(American Psychiatric Association, 2013). Bu belirtiler her bireyde farklı şiddetle ve farklı çeşitlerde görülebilir. Amerikan Psikiyatri Birliği'nin Mental Bozuklukların Tanısal ve İstatistiksel El Kitabı'nda (DSM-5) OSB için 3 düzey belirlemiştir. Bu düzeyler:

Düzye 1: Destek gerektirir.

Düzye 2: Yoğun destek gerektirir

Düzye 3: Çok yoğun destek gerektirir (American Psychiatric Association, 2013)

Ayrıca Mental Bozuklukların Tanısal ve İstatistiksel El Kitabı'nda yer alan tanı kriterleri ise aşağıdaki gibidir:

(A)Sosyal iletişim ve etkileşimde kalıcı eksiklikler ile (B) Sınırlı, Tekrarlayıcı Davranışlar, İlgi Alanları veya Aktiviteler, DSM-5'te OSB'nin değerlendirildiği iki ana grup olmakla birlikte her ana grubun da alt başlıkları bulunmaktadır.

A1: sosyal-duygusal karşılık vermede kısıtlılık,

A2: sözel olmayan iletişim davranışlarında kısıtlılık

A3: akran ilişkisini başlatma veya sürdürmekteki zorluklar

B1: stereotipik veya tekrarlayıcı motor hareketler, konuşma veya nesne kullanımı

B2: aynılıkta ısrar ve rutinelere katı bağlılık

B3: sınırlı ve yoğun ilgi alanları

B4: artmış ya da azalmış duyuşal ilgi ya da tepkiler

DSM-5'e göre OSB tanısı için A ölçütlerinin hepsi ve B ölçütlerinin en az ikisi karşılanmış olması gerekmektedir (Amerikan Psikiyatri Birliği 2013). Bu belirtiler genellikle 3 yaşından önce ortaya çıkmaktadır ve belirtilerin klinik olarak önemli bir işlevsellik kaybına neden olması beklenir. Ayrıca diğer nörogelişimsel veya psikiyatrik bozukluklarla açıklanmamalıdır (American Psychiatric Association, 2013).

OSB'nin yaygınlığı ise Hastalıkları Kontrol Etme ve Önleme Merkezi (Center for Disease Control Prevention [CDC]) verilerine bakıldığında kaygı uyandırmıştır; 2020 raporunda her 56 çocuktan birinde görüldüğü bildirilmiş; 2023 yılının mart ayındaki son kitabında ise her 36 çocuktan 1'inde görüldüğü ifade edilmiştir (CDC, 2023).

Erving Goffman, *stigma* kavramını ilk kez 1963 yılında yayımladığı "**Stigma: Notes on the Management of Spoiled Identity**" adlı kitabında tanımlamış; bireylerin toplumsal kabulünü etkileyen, olumsuz bir şekilde "damgalanmış" özelliklere odaklanarak ele almıştır.

Stigma(damgalama) terimi, bir bireyin toplumun beklediğinin dışında özelliklere sahip olması nedeniyle sosyal olarak reddedilmesini ve damgalanmasını ifade eder. Stigma, bireyin sosyal statüsünü ve ilişkilerini doğrudan etkiler ve dışlanmaya, ayrımcılığa sürükleyerek bireyi dezavantajlı duruma sürükler. Literatür incelendiğinde damgalanmanın sosyal damgalanma ve içselleştirilmiş damgalanma olarak iki şekilde ele alındığı görülmüştür. Sosyal damgalanma, toplum tarafından "normalin dışında" varsayılan bireylerin ayrıştırılıp dışlanması olarak belirtilirken, içselleştirilmiş damgalanma ise bu ayrımcılığı bireyin benimsemesidir. OSB ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde ise OSB bireylerin ve ailelerin tanının getirmiş olduğu güçlüklerin yanı sıra damgalanma ile ilgili de zorluklar yaşadığı görülmüştür(Uz ve Kaya, 2018; Gray, 1993). Gray (1993) tarafından otizmlı çocukların ebeveynleriyle nitel bir çalışma

yürütülmüş ve bu çalışmada otizm spektrum bozukluğuna ilişkin bilgi ve farkındalık eksiği sebebiyle damgalamaya sebep olduğu yorumlanmıştır. Ebeveynlerin çoğu kendilerini damgalanmış olarak algılamış ve annelerde babalara kıyasla daha fazla damgalanmış hissetme eğilimi görülmüştür (Gray, 1993).

Damgalama, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Örneğin Öz vd.(2020) tarafından OSB tanısına sahip çocukların anneleriyle bir çalışmada, annelerin eğitim düzeyi arttıkça içselleştirilmiş damgalama algısının azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı çalışmada anksiyete ve depresyon düzeyleri de incelenmiş ve damgalanma algısı ile anksiyete ve depresyon belirtileri arasında anlamlı pozitif ilişki gözlemlenmiştir. İçselleştirilmiş damgalanma algısı ve yaşam kalitesi arasında da negatif bir ilişki gözlemlenmiştir (Öz vd., 2020).

2. YÖNTEM

Çalışmanın yöntemi bu bölümde “veri toplama” ve “veri analizi” başlıkları altında ele alınmıştır.

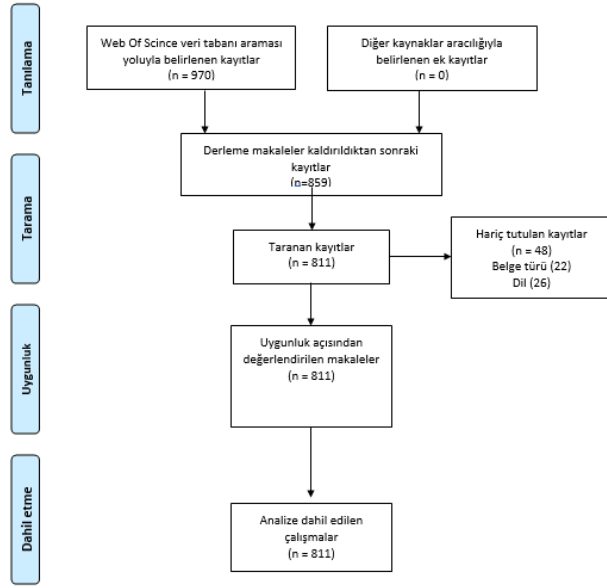
2.1. Veri Toplama

Bu çalışma, "Autism" OR "Autism Spectrum Disorder" AND "Stigma" anahtar kelimeleri kullanılarak bibliyometrik analiz yapmayı amaçlamıştır. Veriler, 2024 yılında Web of Science (WoS) veri tabanından elde edilmiştir. Tarama sonucunda toplam 970 yayın bulunmuştur. Derleme makaleler (n=111) çalışma kapsamı haricinde tutulmuş; doküman tipi olarak yalnızca "Makale" ve dil olarak "İngilizce" dahil etme kriterleri uygulanmıştır. Bu filtreleme sonrasında toplam 811 belge analiz için uygun bulunmuştur.

2.2. Veri Analizi

Veri seti, R programı üzerinde analiz edilmesi amacıyla "bibliometrix" paketinin Biblioshiny uygulamasına aktarılmıştır. WoS'den indirilen dosyalar, R yazılımına yüklenerek formatlama ve ön işleme süreci tamamlanmıştır. Veri setindeki alanlar, yazar bilgileri, makale başlıkları, anahtar kelimeler, ülkeler ve atıf bilgileri gibi önemli öğeleri içermektedir. Kullanılan R yazılımında, "bibliometrix" ve "Biblioshiny" paketleri hem grafiksel hem de tablosal analizler üretilmiştir. Yayın yılı trendleri, atıf analizleri ve kelime bulutları gibi çıktılar bu yazılımlar yardımıyla elde edilmiştir.

Veri analiz sürecinde elde edilen makalelerin hariç tutma ve dahil etme kriterlerinin daha iyi anlaşılması amacıyla PRISMA akış diyagramı Görsel 1’de sunulmuştur.



Görsel 1. PRISMA Akış Diyagramı

3. BULGULAR

Bu bölümde araştırmadan elde edilen bulgular verilmiştir.

Çizelge 1. Betimsel Bulgular

Veri ile İlgili Temel Bilgiler	Sonuçlar
Zaman aralığı	1993:2024
Kaynaklar (Dergi, kitap vb.)	341
Belgeler	811
Yıllık büyüme oranı (%)	2,19
Belgelerin ortalama yaşı	3,44
Çalışma başına ortalama atıf	18,75
Referanslar	28430
Çalışma içerikleri	
Yazar anahtar kelimeleri	2999
Yazarlar ve İş birlikleri	
Yazarlar	1005
Tek yazarlı belgelerin yazar sayısı	77
Tek yazarlı çalışma sayısı	79
Çalışma başına düşen yazar sayısı	4,53
Uluslararası yazar iş birlikleri (%)	21,95
Belge Tipi	
Makale	713
Makale; kitap bölümü	17
Makale; erken erişim	78
Makale; bildiri	3

Çizelge 1’de görüldüğü gibi bu çalışmada 1993:2024 yılları arasındaki çalışmalar ele alınmıştır. Toplam 811 belgenin dahil edildiği bu çalışmadaki belgeler 341 kaynaktan elde edilmiştir. Toplam 1005 yazar dahil edilmiş ve yazarlar yaklaşık 3000 anahtar kelime kullanılmıştır. Tek yazarlı belgelerin yazar sayısı 77 iken tek yazarlı çalışma sayısı 79’ dur.

Çizelge 2. Yazarlar

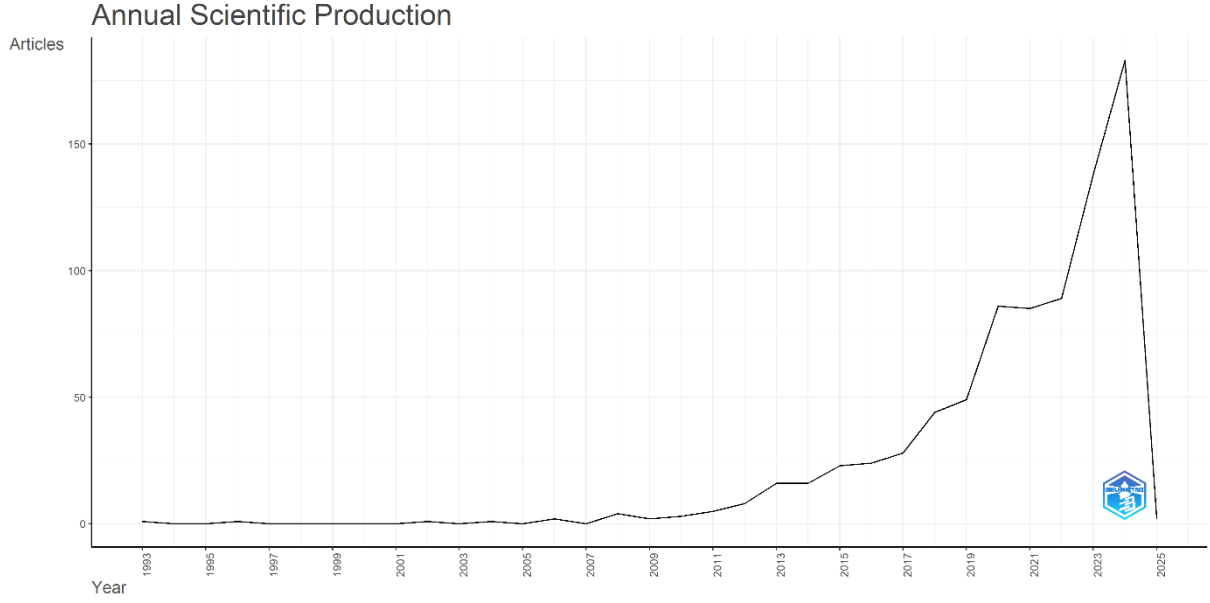
Yazar	Makale	Katkı
Gillespie-Lynch K	15	2,72
Chan Kks	10	4,08
Pellicano E	10	1,89
Harrison Aj	8	1,59
Botha M	7	2,09
Cage E	7	1,74
Hoekstra Ra	7	0,91
Kim Sy	7	1,97
Papadopoulos C	7	1,98
Crane L	6	1,22

Çizelge 2’de en fazla katkıda bulunan yazarlar görülmektedir. En fazla makale Gillespie-Lynch K. Yazarına ait olsa dahi en fazla katkıda bulunan yazar Chan Kks olarak görülmüştür. Bu durum yazarların iş birliği içerisinde çalışmış olmasından kaynaklıdır.

Çizelge 3. Yazarların Bağlı Olduğu Kuruluşlar

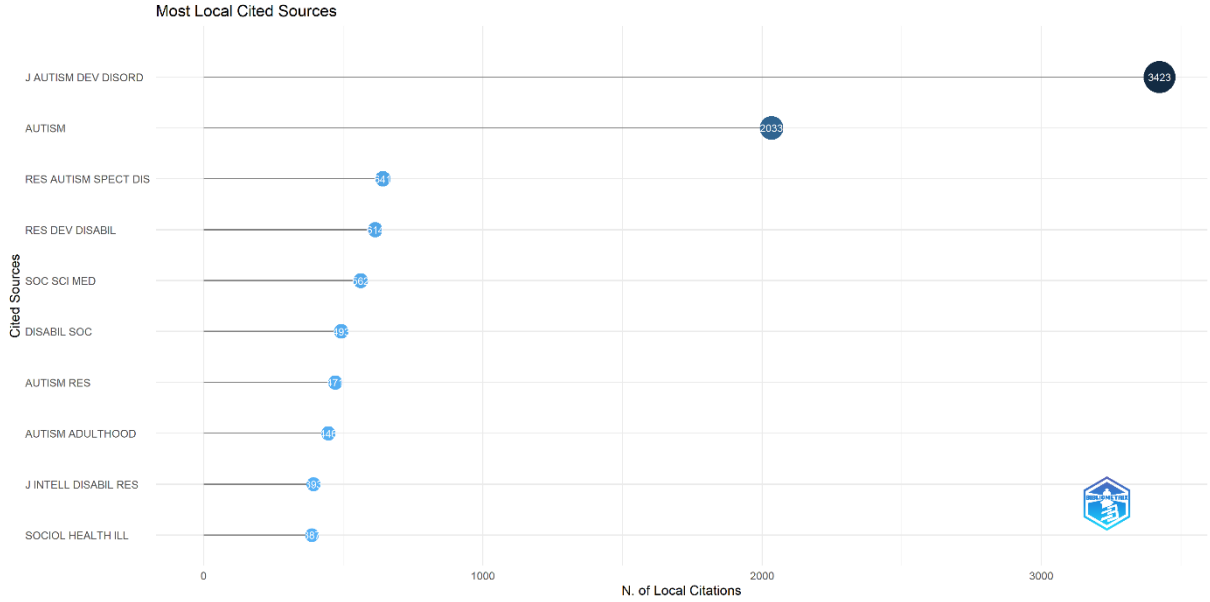
Kuruluş	Makale
Education Univ Hong Kong	59
Univ Toronto	32
Kings Coll London	27
La Trobe Univ	23
Univ Cambridge	23
Univ Penn	23
Cuny Coll Staten Isl	21
Macquarie Univ	21
Grad Ctr	19
Univ Birmingham	19

Çizelge 3’te yazarların bağlı olduğu kuruluşlar görülmektedir. En fazla yazarın Educ University Hong Kong’a bağlı olduğu görülmektedir. Bu bulguyu takiben Toronto University ve Kings Coll London gelmektedir.



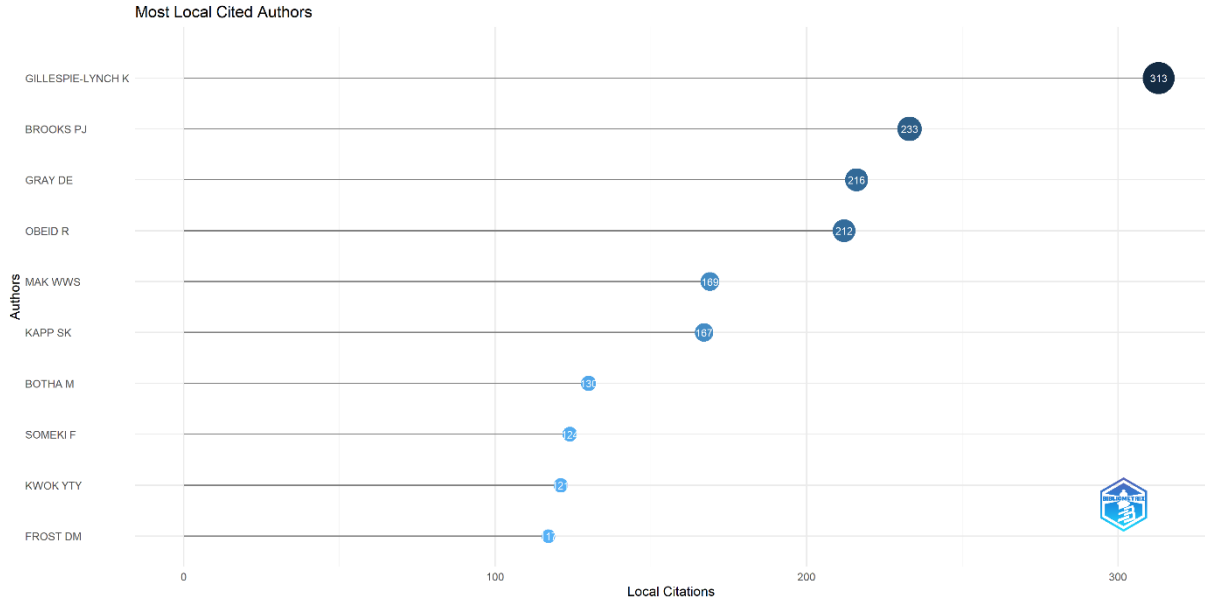
Görsel 2. Yayın Yıllarına Göre Dağılım

Görsel 2’de incelenen belgelerin yayın yıllarına göre dağılımı verilmiştir. Görsel 2’ye bakılarak 2021 yılından sonra dramatik bir artış olduğu gözlemlenebilir. En fazla yayının ise 2024 yılında elde edildiği görülmüştür.



Görsel 3. En Çok Atıf Alan Dergiler

Görsel 3’te bu çalışma kapsamında seçilen anahtar kelimelerle elde edilen 811 belgeye ait her bir referans listelerinin en etkilileri belirtilmiştir. Görsel 3’e göre referans listeleri içerisinde en sık atıf gösterilen dergi Journal of Autism and Development Disorder olmuştur.



Görsel 4. En Çok Atıf Alan Yazarlar

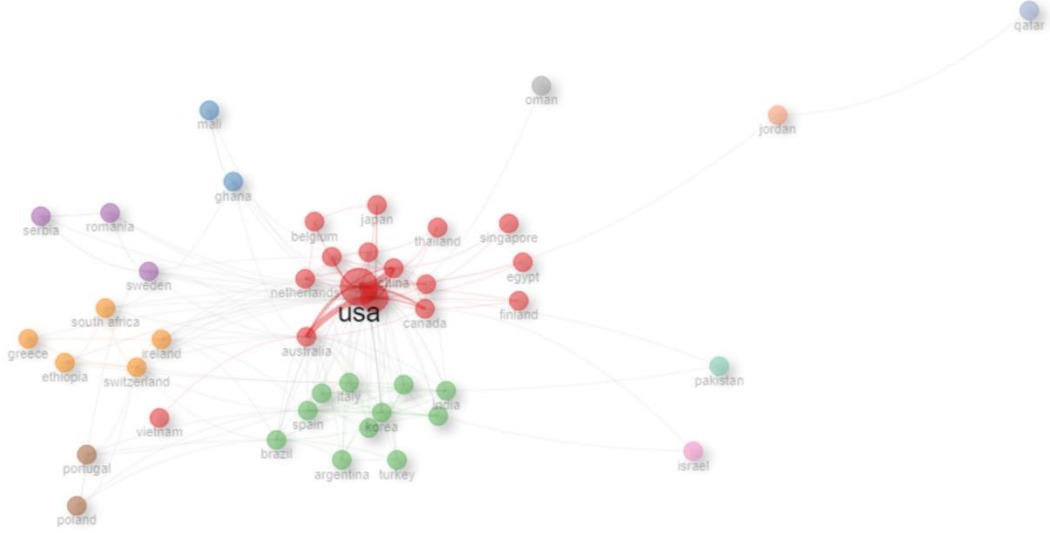
Görsel 4’te, veri setindeki en çok atıf alan yazarlar gösterilmiştir. En çok atıf alan yazar Gillespie Lynch K.’dir. Bu bulguyu takiben Brooks PJ ve Gray De gelmektedir.

Çizelge 4. En Çok Atıf Alan Belgeler

Document	DOI	Year	Local Citations	Global Citations
MAK WWS, 2010, SOC SCI MED	10.1016/j.socscimed.2010.02.023	2010	121	247
GRAY DE, 2002, SOCIOLOGICAL HEALTH ILL	10.1111/1467-9566.00316	2002	118	333
GRAY DE, 1993, SOCIOLOGICAL HEALTH ILL	10.1111/1467-9566.ep11343802	1993	98	210
KINNEAR SH, 2016, JOURNAL OF AUTISM DEVELOPMENTAL DISORDERS	10.1007/s10803-015-2637-9	2016	96	200
GILLESPIE-LYNCH K, 2015, JOURNAL OF AUTISM DEVELOPMENTAL DISORDERS	10.1007/s10803-015-2422-9	2015	87	211
FARRUGIA D, 2009, SOCIOLOGICAL HEALTH ILL	10.1111/j.1467-9566.2009.01174.x	2009	66	155
OBEID R, 2015, JOURNAL OF AUTISM DEVELOPMENTAL DISORDERS	10.1007/s10803-015-2499-1	2015	58	109
BOTHA M, 2022, DISABILITY AND SOCIETY	10.1080/09687599.2020.1822782	2022	58	187
BOTHA M, 2020, SOCIOLOGICAL MENTAL HEALTH	10.1177/2156869318804297	2020	56	239
BUTLER RC, 2011, JOURNAL OF AUTISM DEVELOPMENTAL DISORDERS	10.1007/s10803-010-1093-9	2011	47	91

Çizelge 4’te incelenen belgeler arasında en çok atıf alan yayınlar görülmektedir. Bu çizelgeye göre 2010 yılında yayımlanan “Internalization of stigma for parents of children with autism spectrum disorder in Hong Kong” başlıklı makale belgeler içerisinde toplam “121” atıf almıştır. Küresel olarak en çok atıf gösterilen makale ise Gray De.’nin 2002 yılında yayımlanmış olduğu “Everybody just freezes. Everybody is just embarrassed’: felt and enacted stigma among parents of children with high functioning autism” başlıklı makaledir. Tablo 4’te 2022 yılında

yayımlanan Botha M'nin "Autism is me": an investigation of how autistic individuals make sense of autism and stigma" başlıklı makalesinin de yer aldığı görülmektedir. Bu durum, yayın yılı güncel olmasına rağmen incelenen makaleler arasında en çok atıf alan 10 makale içerisine girmesi dolayısıyla bu çalışmanın değerli olduğunu düşündürmüştür.



Görsel 5. Ülkelerarası İş Birliği

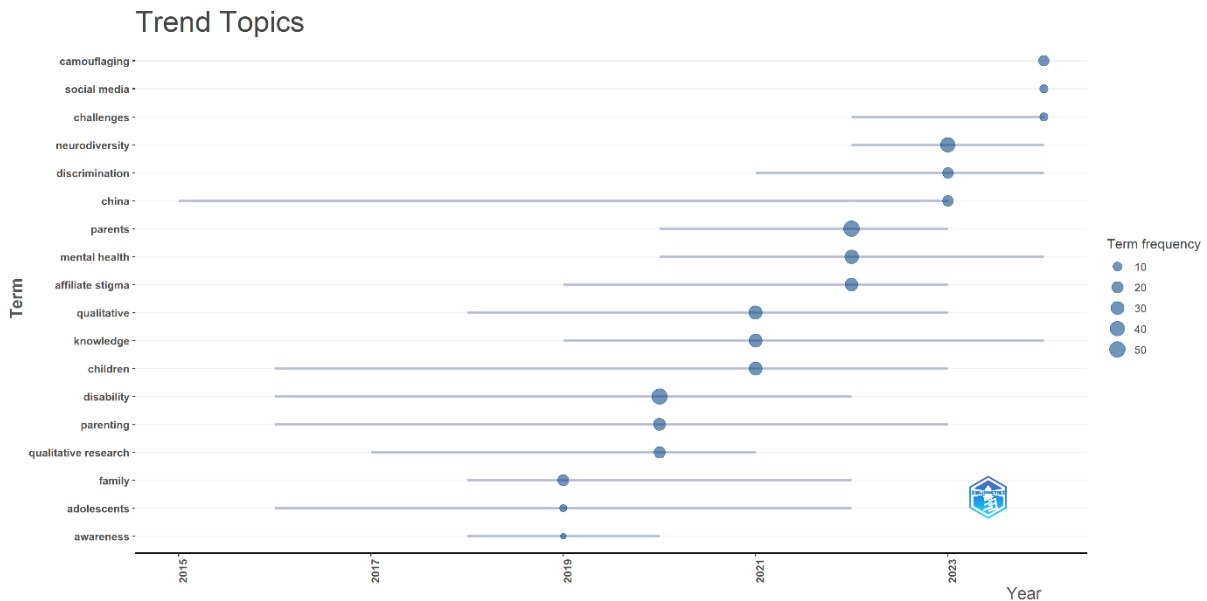
Görsel 5'te ülkeler arası iş birlikleri görülmektedir. Görsel 5'te de görüldüğü gibi en merkezi ülke Amerika Birleşik Devletleri'dir. Amerika Birleşik Devletleri'nin düğümünün büyük olması sık çalışma yapmış olmasıyla ilişkilidir. Amerika Birleşik Devletleri'nin iş birliği yaptığı ülkeler ise Çin, Kanada, Avustralya, Belçika, Hollanda gibi ülkeler olarak görülmektedir.



Görsel 6. Yazarların Anahtar Kelimeleriyle İlişkili Kelime Bulutu

Görsel 6’da yazarların kullanmış olduğu en sık kelimelerden oluşan bir kelime bulutu oluşturulmuştur. Kelime bulutu oluşturulurken araştırmacılar tarafından “text editing” yöntemi kullanılmış ve “autism spectrum disorder, autism, autism spectrum, autism spectrum disorders, stigma, spectrum disorder, spectrum disorders, spectrum, asd, autistic” anahtar kelimeleri görmezden gelinmiştir. Bu kapsamda incelenen makalelerde otizm ve stigma dışında vurgu yapılan noktaların gösterilmesi hedeflenmiştir.

Görsel 6’da görüldüğü gibi en sık kullanılan anahtar kelime parents(n:50) olmuştur. Bu bulguyu takiben disability(n:47), neurodiversity(n:40) gelmektedir. Sık kullanılan anahtar kelimeler arasında mental health(n:34), qualitative(32), affiliate stigma(28), knowledge(29) sıralanabilir.



Görsel 7. En Sık Kullanılan Anahtar Kelimelerin Dağılımı

Görsel 7’de yıllara göre çalışmalarda yazarların kullanmış olduğu anahtar kelimeler görülmektedir. 2019 yılında family kelimesinin ön plana çıktığı görülmektedir. 2020 yılında disability anahtar kelimesi daha sık görülürken 2021 yılında qualitative anahtar kelimesine daha çok yer verildiği görülmüştür. 2022 yılında parents kelimesinin ön plana çıktığı görülmüştür. 2023 yılında challenges, 2024 yılında da social media anahtar kelimesinin ön plana çıktığı görülmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada Web of Science(WoS) veri tabanı üzerinden “otizm spektrum bozukluğu” OR “otizm” AND “stigma” anahtar kelimeleri tarih filtrelemesi yapmaksızın taratılmış 341 kaynaktan elde edilen toplam 811 yayına ulaşılmıştır. Kullanılan anahtar kelimelerle ilişkili ilk yayının 1993 yılında olduğu görülmüştür. Elde edilen kaynaklarda toplam 1005 yazar ve 2999 anahtar kelime bulunmaktadır. En çok makalesi olan yazar Gillespie-Lynch K iken en çok katkı sağlayan yazarın Chan Kks olduğu görülmektedir. Bu durum çalışmalarda yazarların iş birliklerine işaret etmektedir. Yazarların bağlı olduğu kuruluşlarla ilgili çizelgede de görüldüğü gibi “Education University of Hong Kong” kuruluşunun ön plandadır. Bu bulguyu takiben “Toronto University” gelmektedir. Makaleler yayın yıllarına göre incelendiğinde ise 2010’lu yıllarda bir yükseliş olduğu görülebilir ancak en fazla yayın 2024 yılında gerçekleşmiştir. Yerel veri setinde en çok atıf alan dergi “Autism and Development Disorder” olarak gözlemlenirken en çok atıf alan yazar “Gillespie Lynch K.” Olmuştur. Ülkelerarası yapılan analiz incelendiğinde ise Amerika Birleşik Devletleri’nin önemli bir konumda olduğu görülmektedir. Amerika Birleşik Devletleri’nin iş birliği yaptığı ülkeler ise Çin, Kanada, Avustralya, Belçika, Hollanda gibi ülkeler olarak görülmektedir. Çizelgede dikkat çeken bir diğer bulgu da Pakistan, Katar ve Ürdün gibi Ortadoğu Ülkeleri’nin iş birliklerinin az olmasıdır. Otizmle ilgili yürütülen bibliyometrik analiz çalışmaları incelenmiş ve en merkezi konumda olan ülkenin Amerika Birleşik Devletleri olduğu görülmüştür (Lyu ve ark.,2024; Feng ve ark., 2022). Amerika Birleşik Devletleri’nin bilimsel araştırmaya konusunda ön planda olması Ulusal Sağlık Enstitüsü (NIH)’ne ev sahipli yapmasıyla açıklanabilir (National Institutes of Health [NIH], 2024).

Ayrıca, Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa ülkelerinde otizmle ilgili çalışmalar için gelişmiş üniversiteler ve araştırma enstitüleri bulunmakla birlikte uygulamalar üzerine araştırmalar için geniş bir finansal destek yelpazesi bulunmakta ve yasalar kapsamında desteklenmektedir (Tomris ve Çelik, 2022) Düşük ve orta gelirli ülkelerde otizm araştırmalarının desteklenmesi ve iş birliklerinin sağlanması literatürdeki bu dengesizliklerin giderilmesine katkı sağlayabilir (Durkin vd., 2015).

Kelime analizlerine bakıldığında ise en sık kullanılan anahtar kelimelerin aile, nöroçeşitlilik, engel, ruh sağlığı ve nitel kelimeleri olduğu görülmüştür. Literatür incelendiğinde, otizm ve damgalama üzerine annelerin algıladıkları damgalama üzerine çalışmalara yer verildiği görülmektedir. Gray(1993)’in çalışmasına göre OSB çocuğu olan annelerin, babalarına kıyasla daha fazla damgalama algıladıkları bildirilmiştir.

Ayrıca yine literatür incelendiğinde, damgalamanın ruh sağlığı üzerinde etkili olduğu ve psikolojik destek almaya yönelik tutumları da etkilediği belirtilmiştir(Akt., Gürsoy ve Gizir, 2018). OSB tanısı alan çocukların annelerinde görülen depresyon-anksiyete belirtileri ve

damgalanma algıları incelenmiş ve içselleştirilmiş damgalanma algısı ile anksiyete ve depresyon belirtileri arasında anlamlı pozitif ilişki gözlemlenmiştir (Öz vd., 2020).

KAYNAKÇA

Gray, D. E. (1993). Perceptions of stigma: The parents of autistic children. *Sociology of Health & Illness*, 15(1), 102-120.

Öz, B., Yüksel, T., & Nasiroğlu, S. (2020). Otizm spektrum bozukluğu tanısı alan çocukların annelerinde görülen depresyon-anksiyete belirtileri ve damgalanma algısı. *Noro-Psikiyatri Arsivi*, 57(1), 50-55.

Uz, S., & Kaya, K. (2018). Otizmliler Çocuklara ve Ailelerine Yönelik Damgalama. *Journal of History Culture and Art Research*, 7(1), 663-683. doi:<http://dx.doi.org/10.7596/taksad.v7i1.1411>

Gürsoy, O., & Gizir, C. A. (2018). Üniversite öğrencilerinin psikolojik yardım almaya yönelik tutumları: Sosyal damgalanma, kendini damgalama, öznel sıkıntıları açma, benlik saygısı ve cinsiyetin rolü. *Turkish Psychological Counseling and Guidance Journal*, 8(49), 137-155.

Tomris, G., & Çelik, S. (2022). Erken Çocukluk Özel Eğitimi: Kuramsal ve Yasal Temeller, Dünya'daki ve Türkiye'deki Son Eğilimler. Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri

Fakültesi Özel Eğitim Dergisi, 23(1), 243-269.
<https://doi.org/10.21565/ozelegitimdergisi.748893>

Durkin, M. S., Elsabbagh, M., Barbaro, J., Gladstone, M., et al. (2015). *Autism screening and diagnosis in low resource settings*. Pediatrics.

Lyu, K., Li, J., Chen, M., Li, W., Zhang, W., Hu, M., ... & Feng, X. (2024). A bibliometric analysis of autism spectrum disorder signaling pathways research in the past decade. *Frontiers in Psychiatry*, 15, 1304916.

Feng, X. W., Hadizadeh, M., & Cheong, J. P. G. (2022). Global trends in physical-activity research of autism: Bibliometric analysis based on the web of science database (1980–2021). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(12), 7278.

National Institutes of Health. (2024). *Understanding autism spectrum disorder*.
<https://www.nih.gov/autism-spectrum-disorder>

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). American Psychiatric Publishing.

Centers for Disease Control and Prevention. (2023). Data & statistics on autism spectrum disorder. <https://www.cdc.gov/ncbddd/autism/data.html>

FİZYONOMİ VE RUHSAL BOZUKLUKLAR: YÜZ İFADELERİNİN PSİKOLOJİK DURUMLARI BELİRLEME SÜRECİNDEKİ ROLÜ VE PSİKİYATRİ HEMŞİRELİĞİ

Arş. Gör. Dr. Elif Güzide EMİRZA

Ondokuz Mayıs Üniversitesi,
guzzide@hotmail.com - 0000-0003-3652-2428

Arş. Gör. Dr. Kübra GÜLİRMAK GÜLER

Ondokuz Mayıs Üniversitesi,
k_1058_g@hotmail.com - 0000-0003-4450-3737

ÖZET

Bu derlemenin amacı, fizyonomi ve ruhsal bozukluklar arasındaki ilişkiyi inceleyerek, yüz ifadelerinin psikolojik durumları belirlemedeki rolü ve psikiyatri hemşireliği ile ilişkisini ele almaktır. Fizyonomi, bireylerin yüz ifadelerinin ve vücut dilinin duygusal ve zihinsel halleri yansıttığı bir bilim dalıdır. İnsan yüzü, duygusal durumları dışa vuran ve sosyal etkileşimlerde önemli bir araç olan bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Yüz, bir insanın karakterinin ve iç dünyasının izlerini taşır. Bir kişinin yüzüne bakarak, onun kişiliği ve duygusal durumu hakkında önemli ipuçları edinmek mümkün olabilmektedir. Yüz ifadeleri, ruhsal bozuklukların tanısal süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır, çünkü yüz kaslarının hareketleri ve mimikleri, duygusal bozuklukların belirgin işaretleri olabilmektedir. Bireylerin karakter özelliklerini de ortaya koyabilen fizyonomi aynı zamanda depresyon, anksiyete, bipolar bozukluk, kişilik bozuklukları gibi yaygın ruhsal hastalıkların da, bireylerin yüz ifadelerine yansımalarını incelemektedir. Bu ifadeler, duygusal durumların daha objektif bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlar. Yüz ifadelerinin doğru analiz edilmesi, psikolojik bozuklukların erken tespiti ve tedavi süreçlerinin iyileştirilmesi için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, yüz ifadelerinin değerlendirilmesi, sadece klinik tanıda değil, aynı zamanda tedavi sürecinin izlenmesinde de fayda sağlayabilmektedir. Fizyonomi, hem geniş ırksal ve kimlik sınıflandırmalarını tanımlamak hem de klinik bağlamda ruhsal bozuklukları teşhis etmek için kullanılan bir yöntem olmuştur. Böylelikle profesyonellere, çeşitli alanlarda ve ruhsal sorunları tanımlamada etkili bir araç sağlayabilmektedir. Sonuç olarak, fizyonomi ilmi yüz ifadelerinin ruhsal bozuklukların anlaşılması ve tedavisindeki değerini vurgulamakta ve fizyonominin psikolojik alandaki rolüne dair önemli bir perspektif sunmaktadır. Ayrıca, psikiyatri profesyonellerinden olan adli psikiyatri hemşireliğinde, hasta bakımında fizyonomiden faydalanmak iyileşmeyi değerlendirme de yenilikçi yaklaşımlardan olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Fizyonomi, ruhsal hastalıklar, yüz ifadesi, psikoloji, adli psikiyatri hemşireliği

PHYSIOGNOMY AND MENTAL DISORDERS: THE ROLE OF FACIAL EXPRESSIONS IN THE PROCESS OF IDENTIFYING PSYCHOLOGICAL STATES AND PSYCHIATRIC NURSING

Res. Asst. Dr. Elif Güzide EMİRZA

Ondokuz Mayıs University,
guzzide@hotmail.com - 0000-0003-3652-2428

Res. Asst. Dr. Kübra GÜLİRMAK GÜLER

Ondokuz Mayıs University,
k_1058_g@hotmail.com - 0000-0003-4450-3737

ABSTRACT

The aim of this review is to examine the relationship between physiognomy and mental disorders, the role of facial expressions in determining psychological states and their relationship with psychiatric nursing. Physiognomy is a branch of science in which facial expressions and body language of individuals reflect emotional and mental states. The human face is recognised as an indicator that expresses emotional states and is an important tool in social interactions. The face bears the traces of a person's character and inner world. By looking at a person's face, it is possible to get important clues about his/her personality and emotional state. Facial expressions play an important role in the diagnostic processes of mental disorders, because facial muscle movements and facial expressions can be obvious signs of emotional disorders. Physiognomy, which can also reveal the character traits of individuals, also examines the reflections of common mental illnesses such as depression, anxiety, bipolar disorder, personality disorders on the facial expressions of individuals. These expressions allow a more objective assessment of emotional states. Accurate analysis of facial expressions is critical for early detection of psychological disorders and improvement of treatment processes. Moreover, the evaluation of facial expressions can be useful not only in clinical diagnosis but also in monitoring the treatment process. Physiognomy has been used both to define broad racial and identity classifications and to diagnose mental disorders in a clinical context. As such, it can provide professionals with an effective tool for identifying mental problems in a variety of fields. In conclusion, the science of physiognomy emphasises the value of facial expressions in the understanding and treatment of mental disorders and provides an important perspective on the role of physiognomy in the psychological field. In addition, in forensic psychiatry nursing, which is one of the psychiatry professionals, utilising physiognomy in patient care may be one of the innovative approaches in evaluating recovery.

Keywords: Physiognomy, mental disorders, facial expression, psychology, forensic psychiatry nursing

1. GİRİŞ

Fizyonomi, insanların yüz ifadelerinden hareketle psikolojik durumlarını veya kişilik özelliklerini anlamaya yönelik bir inceleme alanıdır. Tarihsel olarak, insanların dış görünüşlerinden ve özellikle yüz ifadelerinden içsel durumlarını okumaya yönelik birçok teori ve hipotez geliştirilmiştir. Yüz, duygusal ve psikolojik durumların en belirgin yansımaları gösterdiği düşünülen vücut parçasıdır ve bu nedenle fizyonomi, ruhsal bozuklukların tanınmasında ve anlaşılmasında önemli bir araç olarak kabul edilmektedir (Ekman, 1999).

Fizyonominin ruhsal bozukluklar alanında nasıl işlediği ve yüz ifadelerinin bu bozuklukların belirlenmesindeki rolü, psikoloji ve psikiyatri disiplinlerinin birleşim noktalarından birini oluşturmaktadır. Son yıllarda, özellikle yüz ifadelerinin analizine dayalı bilimsel araştırmalar artmış ve bu alandaki bulgular, ruhsal sağlık durumlarının değerlendirilmesinde yeni bir perspektif sunmuştur (Ekman, 1999; McNeill, 2000). Bu derlemede, fizyonominin ruhsal bozuklukların tanı ve tedavisindeki rolü, yüz ifadelerinin psikolojik durumları belirlemedeki katkıları ve psikiyatri hemşireliğinin rolü üzerine kapsamlı bir inceleme yapılmıştır.

2. FİZYONOMİ

Eski Çin, Mısır ve Yunan medeniyetleri kadar uzun zaman önce bile insanlar yüz morfolojik özellikleri ile bireyin kişilik özellikleri arasında bir ilişki kurmaya çalışmışlardır (McNeill, 2000). Modern psikolojik çalışmalar, insanların başkalarını dış görünüşlerine göre değerlendirme eğiliminde olduklarını ve daha sonra bu ilk izlenimlere dayanarak onlarla etkileşime geçtiklerini ortaya koymuştur. Günümüzde, yüzlerin insanların diğer insanlarla ilgili günlük değerlendirmelerinde merkezi bir rol oynadığı iyi bir şekilde tespit edilmiştir (Todorov ve ark., 2008).

Yüz değerlendirmesi, yüzdeki ipuçlarını değerlendirme süreci boyunca evrimleşen bir insan mekanizmasıdır. İlk izlenimlerin ardından tanımlayıcı bir gerçek olduğuna inanılmaktadır. İnsanların yüz hatlarından en az dört kişilik özelliği (Uyumluluk, Vicdanlılık, Dışadönüklük ve Baskınlık) için geçerli çıkarımlar yapabildiği gösterilmiştir (Kramer, 2011; Wolffhechel, 2014; Qin ve ark., 2016). Wolffhechel ve arkadaşları, kişilerin kendi bildirdikleri kişilik özellikleri ile ilk izlenimleri arasındaki ilişkiyi incelemiş ve bazı kişilik özelliklerinin yüzlerden belli bir dereceye kadar tahmin edilebileceğini bulmuştur. Bu araştırmanın sonuçları, insanların yüzlerine bakarak erkeklerin zekası ve kişilik özelliklerini doğru bir şekilde değerlendirebildiğini göstermiştir.

2.1. Fizyonominin Tarihsel Gelişimi

Fizyonomi, vücut dili, yüz ifadeleri, el ve ayak gibi dışsal görünüm unsurlarına bakarak bir kişinin karakteri ve psikolojik durumu hakkında çıkarımlar yapmaya yönelik bir disiplindir. Bu yaklaşım, tarih boyunca Çin, Hindistan, Mısır ve Yunan gibi eski medeniyetler tarafından, kişilik analizi ve karakter tespiti için kullanılmıştır. Antik Çin'den Antik Yunan'a, hatta günümüze kadar devam eden bir uygulama olan yüz okuma sanatı, hem doğuda hem de batıda geniş bir geçmişe sahiptir (Qin ve ark., 2016; Abuagla, 2021). Batıda "fizyonomi" olarak

bilinen bu ilim, İslam dünyasında "kıyafetname" ya da "firaset ilmi" olarak adlandırılmaktadır (Abuagla, 2021).

Fizyonomi, İslam dünyasında zaman içinde farklı şekillerde ele alınmıştır. İslam alimleri bu alanda farklı görüşlere sahip olup, bazılarının fizyonomiye şüpheyle yaklaştığı, bazılarınca ise doğru bir bilgi kaynağı olarak kabul edildiği görülmektedir. Balizâde Mustafa Efendi, kıyafetnamenin güvenilirliğini sorgulayarak, bu bilginin sadece bir zan olduğunu belirtmiştir. Ancak bazı alimler, fizyonomiyi insan karakterini anlamada geçerli bir yöntem olarak değerlendirmiştir (Abuagla, 2021; Ünsal, 2023). İslam dininde, özellikle evlenme aşamasındaki bireylerin, karşısındaki kişiyi anlamak için yüz ve el bakışlarının önerilmesi, bu bilimin önemini vurgular. Çünkü yüz ve eller, bir kişinin karakterini yansıtan önemli ipuçları içerir ve bu gözlemler, insanların birbirlerini tanımada başvurdukları doğal bir yöntemdir (Beveridge, 2018).

Osmanlı İmparatorluğu'nda, devşirme sistemi ve Enderun'a alınacak kişilerin seçiminde fizyonomi önemli bir rol oynamıştır. Ayrıca, üstün yetenekli çocukların seçilmesinde ve saray içindeki elemanların belirlenmesinde bu ilimden faydalanılmıştır. Bu gelenek, Osmanlı'da sadece saray ve devlet işleriyle sınırlı kalmayıp, toplumun farklı katmanlarında da uygulanmıştır (Arslan, 2020). Aynı şekilde, eski İran kültüründe de kıyafetname uygulamaları kullanılmış, Sasani İmparatoru Nuşirevan'ın bu bilime başvurmuş olduğu bilinmektedir (Abuagla, 2021).

Fizyonomi, sadece eski Doğu kültürlerinde değil, Ortaçağ Avrupa'sında da etkili olmuştur. Krallar, saraylarında bu alanda yazılmış eserlere başvurmuş, kilisenin karşı çıkmasına rağmen fizyonomi bilgisini kullanmışlardır. Yunanlı hekim Hipokrat da fizyonomiyi, hastalıkların tanısı ve tedavisinde kullanmış, karakter analizi için vücutta bulunan dört temel sıvının (kan, balgam, safra ve sevda veya kara safra) rolünden bahsetmiştir (Beveridge, 2018). Aynı şekilde, ünlü filozof Aristo ve diğer düşünürler de fizyonomiyi, insanların ruhsal durumları ve karakterleri üzerine gözlemler yapmada bir yöntem olarak kullanmışlardır (Qin ve ark., 2016; Abuagla, 2021).

Günümüzde fizyonomi, psikoloji, sağlık, iş dünyası ve hukuk gibi birçok alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle psikolojik değerlendirmelerde, iş mülakatlarında ve hukuki süreçlerde, bireylerin yüz ifadeleri ve vücut dillerinden karakter analizi yapılmaktadır. Batıda, fizyonomi üzerine yazılmış çok sayıda akademik eser ve araştırma bulunmakta, bu alanda kullanılan yöntemler günümüzün farklı disiplinlerinde de uygulanmaktadır (Ekman, 1999; McNeill, 2000; Qin ve ark., 2016; Abuagla, 2021).

2.2.Fizyonominin Temel İlkeleri

Fizyonomi, insanın dış yüzeyinden, özellikle yüz ifadelerinden yola çıkarak duygusal ve zihinsel durumları anlama çabasıdır. Yüz, insanın en duygusal ifadesi olarak kabul edilen bir organ olup, içsel durumların en açık dışa vurumunu sergiler. Fizyonomi, tarihsel olarak, bir kişinin karakteri ve ruhsal durumu hakkında bilgi edinmeye yönelik çeşitli teoriler geliştirmiştir (Qin ve ark., 2016; Abuagla, 2021). Bu teorilerin en bilinenlerinden biri, Antik Yunan'da Aristoteles tarafından yapılan yüz ifadeleriyle ilgili analizlerdir (Qin ve ark., 2016).

Modern psikoloji ve nörobilim alanındaki gelişmelerle birlikte, fizyonominin temelleri daha bilimsel bir zemine oturmuş ve yüz ifadelerinin biyolojik ve psikolojik temelleri

keşfedilmiştir. Yüz ifadelerinin, duygusal durumları belirlemedeki rolü, Darwin'in duygusal ifadelerin evrimsel temelleri üzerine yaptığı çalışmalarla büyük bir ivme kazanmıştır. Darwin, duyguların evrimsel olarak iletişim amacı taşıyan davranışlar olduğuna ve yüz ifadelerinin bu duyguların açık bir yansıması olduğuna dikkat çekmektedir (Ekmekçi, 2018). Yüzdeki kas hareketleri, genellikle bilinçli olarak kontrol edilemeyen ve spontan bir şekilde meydana gelir. Bu, yüz ifadelerinin kişilerin duygusal ve psikolojik durumları hakkında doğru ve güvenilir bilgiler sunduğunu gösterebilmektedir (Arslan, 2020).

2.3.Yüz Şekilleri ve Karakter Özellikleri

Fizyonomi ilmine göre yüz şekillerinin bazı karakter özellikleri hakkında bilgi verebileceği öne sürülmektedir (Ekman, 1999; McNeill, 2000; Qin ve ark., 2016; Arslan, 2020). Örnek olarak;

Yuvarlak yüz şekline sahip kişiler genellikle nazik, zarif ve duyarlı bir kişiliğe sahiptir. Sakin ve muhafazakar bir yapısı vardır. Adaptasyon yetenekleri oldukça yüksektir, çevrelerinde sempatik ve sevilen kişilerdir. Geniş bir arkadaş çevresine sahip olup, fedakarlık yapmayı ve başkalarına yardımcı olmayı severler. Yemek konusunda tutkuludurlar ve kilo almaya yatkın olabilirler. Neşeli bir kişilikleri vardır, insanlarla kolayca iletişim kurarlar (Oommen & Oommen, 2003, Demir, 2015).

Dikdörtgen yüzlü kişiler ise yaşamlarına adanmış ve çalışkan bir kişiliktedirler. Pratik ve kararlarında genellikle doğruyu bulurlar. Dış görünüşlerine özen gösterirler. Zaman zaman ani öfke nöbetleri yaşayabilirler (Swain, 2007). Düzenli ve planlı bir yaşam tarzını tercih ederler. Mantıklı düşünmeyi, duygularından çok akıllarını kullanmayı tercih ederler. Yalnız kalmayı ve derin düşünmeyi severler. Hırslıdırlar ve iş hayatında başarıya odaklanmışlardır. Çoğunlukla atletik bir vücut yapısına sahip olabilirler ve bazen narsist özellikler gösterebilirler (Oommen & Oommen, 2003, Demir, 2015). Takım çalışmasından çok, kendi işlerini kurup yönetmeyi tercih ederler. Doğuştan liderlik özellikleri taşırlar (Swain, 2007).

Kare yüzlü kişiler araştırmayı ve keşfetmeyi seven, meraklı bir kişiliğe sahiptir. Seyahat etmeyi, yeni yerler keşfetmeyi çok severler. Keskin bir zekaya ve entelektüel bir yapıya sahip olup, uzun süreli işlerde yüksek dayanıklılığa sahiptirler. Girişken kişilerdir ve her zaman yeni fırsatlar ararlar. Sahiplenici, bazen kıskanç ve agresif bir tavır sergileyebilirler (Oommen & Oommen, 2003, Swain, 2007; Demir, 2015).

Kalp şeklinde bir yüze sahip kişiler ise olayları kontrol etmekten hoşlanırlar. Detaycı ve işlerinde kaliteye büyük önem verirler. Hedeflerine kilitlenmiş bir şekilde yüksek performans gösterirler. Güçlü sezgileri ve yaratıcı düşünce tarzları vardır. İletişim becerileri oldukça gelişmiştir ve iyi bir konuşmacı olabilirler (Oommen & Oommen, 2003, Swain, 2007).

3. FİZYONOMİ VE RUHSAL BOZUKLUKLAR

Fizyonomi ilmi ruhsal bozukluğu olan bireyler için de kullanılmaya başlanmıştır. Psikiyatrinin gelişimi ile birlikte Philippe Pinel'in ruh sağlığı alanında dönüm noktası olan yaklaşımı sonrası, insan davranışlarını anlamaya, tanımlamaya ve Pinel'in (1806) "anlama fonksiyonlarında meydana gelen bozulma" olarak tanımladığı ruhsal hastalıkları belirlemeye yönelik çabalar da artış göstermiştir. Bu çabalar, öncelikli olarak hastalıkların

sınıflandırılmasına yönelik girişimler olmuştur (Arslan, 2020). Duyguların “dolaysız ölçme araçlarıyla ölçülebilmesinin” mümkün olmaması sebebiyle, ruhsal hastalıkları sınıflandırmada öncelikle bireylerin ruhsal durumlarını anlayabilmek için bir gösterene ihtiyaç duyulmuştur. Bunu gösteren de; kişinin yaşantıladığı duyguları, görünümünde değişikliklere yol açarak belirten yüz ifadesi olmuştur (Candansayar & Coşar, 2001). Bu doğrultuda psikiyatri alanındaki profesyoneller, ruhsal hastalıkların sınıflandırılmasında; dönemin popüler fizyonomi yaklaşımından da etkilenerek ruh sağlığı bozukluğu olan kişilerin yüz ifadelerini gözlemlemiş ve bu gözlemlerini sanatçılara resmettirmişlerdir. Böylece ruh hastalıkları semptomları (belirtileri) kayıt altına alınmış ve görsel olarak kategorize edilmiştir (Arslan, 2020). Ruhsal hastalıkları tanımlama ve sınıflandırma amaçlı tıbbi illüstrasyonlardan sonra, fotoğrafın keşfi ile resmin yerini fotografik görüntüler almıştır. Fotoğrafi tanısal ve tıbbi amaçlarla sistematik olarak psikiyatride kullanan ilk kişi olan Hugh Welch Diamond, “psikiyatri fotoğrafçılığının babası” olarak bu alanın öncüsü kabul edilmiştir (Candansayar & Coşar, 2001; Arslan, 2020).

19. yüzyılın başlarında, ruhsal bozukluğu olan kişilerin fiziksel görünümünün ruhsal durumlarıyla bağlantılı olduğu inancı geniş bir şekilde kabul görmüştür. Bu görüş, fizyonominin (physiognomy) 19. yüzyılda tekrar popülerlik kazanmasının temel sebeplerindendir. Fizyonomi, bir kişinin dış görünüşünün, onun karakterini, içgüdülerini ve davranışlarını yansıttığı fikrine dayanır (Hartley, 2001). Bu bakış açısına göre, insan ruhu, kişinin dış görünüşüne ve davranışlarına yansır. O dönemde fizyonomi, özellikle yüz ifadelerine yoğunlaşmakla birlikte, bedensel işaretlerin de insan davranışlarını dışa vurduğuna inananlar vardı (Arslan, 2020). Fizyonomi anlayışı, Antik Yunan'dan Çin'e kadar pek çok medeniyet tarafından benimsenmiştir. 18. ve 19. yüzyılda ise, Aydınlanma düşüncesinin görme duyusuna verdiği önem ve estetik anlayışındaki önemli ilerlemelerle fizyonomi yeniden ilgi görmüştür (Yumul, 2012). Bu etkileşim, tıp alanındaki hekimlerin hastalıkları sınıflandırırken, hastaların yüz ifadeleri ve beden dilini dikkate almalarına yol açmıştır. 19. yüzyılda psikiyatri, zihnin görünmeyen hareketlerini bedeninin dışa vurduğu işaretlerle yorumlamaya başlamıştır (Rutanan, 2015).

Fizyonomi anlayışından etkilenen bilim insanları, bireylerin düşünce, duygu ve karakterlerini, dış görünümünden çıkarabileceklerini savunmuşlardır. Bu düşünceden hareketle, insanların yüz ifadeleri ve beden hareketlerinden elde edilen fizyolojik belirtilerle, ruhsal hastalıkların tanımlanmasına dair somut veriler elde etmek için görsel kayıtlar tutulmuştur. Bu amaçla ilk olarak, hastaların portrelerinin çizilmesi için ressamlar görevlendirilmiştir (Arslan, 2020).

3.1. Yüz İfadelerinin Psikolojik Durumları Belirlemedeki Rolü

Yüz ifadeleri, kişinin içsel durumunu dışa vurmasının bir yolu olarak çeşitli psikolojik tepkileri yansıtır. Yüzdeki kasların gerilmesi, gülümseme, kaş çatma, gözlerin büyümesi ya da küçülmesi gibi ifadeler, çeşitli psikolojik durumların izlerini taşır. Paul Ekman'ın yaptığı çalışmalar, yüz ifadelerinin evrensel duygusal durumları belirlemede ne kadar etkili olduğunu ortaya koymuştur. Ekman'a göre, sevgi, korku, öfke, üzüntü, şaşkınlık ve tikslenme gibi temel duygular, yüz ifadeleriyle açıkça anlaşılabilir ve evrensel olarak benzer şekilde ifade edilir (Ekman, 1999).

Yüz ifadelerinin psikolojik durumlarla ilişkisi, sadece duygusal durumları değil, aynı zamanda kişinin psikolojik sağlığı hakkında da bilgi verebilmektedir. Örneğin, depresyon, anksiyete bozuklukları ve psikoz gibi ruhsal bozukluklar, genellikle karakteristik yüz ifadeleriyle ilişkilidir (Arslan, 2020). Depresyon, yüz ifadelerinde genellikle donukluk, düşük enerji ve mutsuzlukla kendini gösterirken, anksiyete bozuklukları hızla değişen ve gerilmiş yüz ifadeleriyle belirtilerini sergileyebilir. Psikoz gibi daha ciddi ruhsal bozukluklar ise, kişinin yüz ifadesinde belirsizlik, şaşkınlık veya uyumsuzluk gibi belirtilere yol açabilir (Beveridge, 2018).

3.2. Ruhsal Bozuklukların Belirtilerinde Yüz İfadelerinin Rolü

Fizyonomi, çeşitli ruhsal bozuklukların tanı ve değerlendirilmesinde önemli bir araç olabilir. Özellikle, depresyon, anksiyete, bipolar bozukluk ve şizofreni gibi hastalıklar, yüz ifadeleri ile ilişkilendirilen belirgin semptomlara sahiptir (Beveridge, 2018).

- Depresyon, kişilerin yüz ifadelerinde en çok gözlemlenen bozukluklardan biridir. Depresif bireylerde, yüz kasları genellikle gevşek olur, dudaklar düşük bir konumda olabilir ve gözlerde bir donukluk gözlemlenir. Yüz ifadelerindeki bu değişiklikler, kişilerin içsel hissettikleri çaresizlik, üzüntü ve umutsuzluk durumlarının bir yansımasıdır. Bunun yanı sıra, depresyon hastaları daha az gülümser ve sosyal etkileşimlere karşı daha az istekli olabilirler (Ekman, 1999; Beveridge, 2018).
- Anksiyete bozuklukları, özellikle yüz ifadelerinde gerilme, kaygılı bakışlar ve hızlı göz hareketleri ile kendini gösterir. Kişi, çevresel stres faktörleriyle yüzleşmekte zorlanabilir ve bu durum yüz ifadelerine yansır. Ayrıca, anksiyozite belirtileri, kişiyle yapılan yüzeysel göz teması, kaş çatma ve ağız kenarlarının gerilmesi gibi davranışlarla da izlenebilir (Oommen & Oommen, 2003).
- Bipolar bozukluk, duygusal uç noktaların bir arada yaşandığı bir durumdur ve bununla bağlantılı olarak yüz ifadelerinde ani ve dramatik değişiklikler gözlemlenebilir. Manik dönemde, yüz ifadeleri genellikle daha canlı ve parlak olabilirken, depresif dönemde ise kişi tamamen duygusal olarak boşalmış gibi görünebilir (Ekman, 1999; Beveridge, 2018).
- Şizofreni hastalarında, yüz ifadelerindeki bozukluklar daha karmaşık olabilir. Bu kişilerde, yüz ifadesi genellikle donuk, duygusal anlam taşıyan herhangi bir tepki göstermeyen ve bazen uyumsuz olabilir. Şizofreni, kişinin dış dünya ile duygusal bağlantısını zayıflatır ve bu durum yüz ifadelerinde belirgin bir şekilde kendini gösterebilmektedir (Beveridge, 2018).

3.3. Yüz İfadelerinin Klinik Uygulamalardaki Rolü

Yüz ifadelerinin klinik değerlendirmelerde nasıl kullanılabileceği konusunda birçok farklı yaklaşım bulunmaktadır. Psikiyatri profesyonelleri hastaların ruhsal durumlarını anlamak için gözlemlerini yüz ifadeleri üzerinden de yapmaktadır. Yüz ifadeleri, bir hastanın ruh halini değerlendirmek, tedavi sürecinin etkilerini izlemek ve tedaviye olan yanıtları ölçmek için önemli bir araç olabilir (Arslan, 2020). Yüz ifadelerinin klinik uygulamalarda etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, belirli bir eğitim ve deneyim gereklidir. Yüz ifadelerinin doğru bir şekilde yorumlanabilmesi, profesyonellerin bu alanda belirli bir farkındalık geliştirmelerini ve yüz ifadeleri ile ruhsal durum arasındaki bağlantıyı anlamalarını sağlar (Carta, 2013).

4. RUHSAL BOZUKLUKLARDA FİZYONOMİ VE PSİKİYATRİ HEMŞİRELİĞİNİN ROLÜ

Psikiyatri hemşireliği, ruhsal bozuklukları olan bireylerin bakım ve tedavisinde önemli bir disiplin olarak ortaya çıkmaktadır. Psikiyatri hemşirelerinin görevleri arasında hasta izlemi, tedavi planlarının uygulanması, tedavi sürecinin değerlendirilmesi ve hastaların ruhsal durumlarının izlenmesi yer almaktadır. Bu süreçte, hemşireler hastanın yüz ifadelerini gözlemleyerek, duygusal durumları hakkında bilgi edinir ve bu bilgileri tedavi ekibiyle paylaşabilmektedir (Özbaş & Buzlu, 2011). Hemşirelerin, hastaların duygusal durumlarına dair farkındalık geliştirmeleri, tedavi sürecinin etkinliğini artırabilmektedir (Olçay, 2005). Fizyonomiyi anlamak ve bu verileri klinik pratikte kullanmak, psikiyatri hemşirelerinin profesyonel becerilerini güçlendirir. Hemşireler, hastaların ruhsal durumları hakkında erken uyarı sinyalleri tespit edebilir ve gerektiğinde müdahale edebilirler. Örneğin, depresyon belirtileri gösteren bir hastada yüz ifadesindeki donukluk, hemşireye hastanın içsel durumuyla ilgili ipuçları verebilir. Benzer şekilde, anksiyete ve stres gibi durumların yüz ifadelerinde oluşturduğu gerginlik, hemşirenin hastanın durumunu anlamasına yardımcı olabilmektedir (Polat & Karakaş, 2020).

Psikiyatri hemşirelerinin fizyonomi bilgilerini kullanması, multidisipliner bir yaklaşımın önemli bir parçasıdır. Hemşireler, yüz ifadeleri gibi görünür verileri, doktorlar ve terapistlerle paylaşarak hastanın durumuna dair daha geniş bir perspektif sunabilirler. Bu işbirliği, hastanın tedavi sürecinin her aşamasında daha iyi bir bakım sağlayabilir (Olçay, 2005). Ayrıca, hemşireler, hastanın yüz ifadelerini izlerken, duygusal değişikliklere bağlı olarak hastanın tedaviye verdiği yanıtı da gözlemleyebilirler. Bu veriler, tedavi planlarının uyarlanmasına ve gerektiğinde yeni stratejilerin uygulanmasına yardımcı olabilir (Olçay, 2005; Polat & Karakaş, 2020).

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Fizyonomi ve yüz ifadeleri, ruhsal bozuklukların tanı ve tedavisinde önemli bir yere sahiptir. Yüz ifadelerinin, kişinin içsel psikolojik durumunu yansıttığı ve duygusal değişiklikleri açığa çıkardığı anlaşılmıştır. Depresyon, anksiyete, bipolar bozukluk ve şizofreni gibi hastalıkların tanısında ve tedavisinde yüz ifadeleri önemli bir yardımcı araç olabilir. Bununla birlikte, yüz ifadelerinin doğru bir şekilde yorumlanabilmesi için profesyonel eğitim ve dikkatli gözlemler gereklidir. Fizyonomi, ruhsal bozuklukların daha etkili bir şekilde tanınmasına ve tedavi edilmesine katkı sağlayan bir alan olarak, gelecekte psikolojik sağlık uygulamalarında daha fazla yer bulacaktır.

6. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Fizyonomi, ruhsal bozuklukların tanısında önemli bir rol oynarken, psikiyatri hemşireliği bu alanda kritik bir görev üstlenmektedir. Hemşireler, yüz ifadelerindeki ince değişiklikleri gözlemleyerek, hastaların duygusal durumlarını daha iyi anlayabilir ve tedavi sürecine katkı sağlayabilirler. Psikiyatri hemşirelerinin, fizyonomiyi doğru şekilde yorumlama yeteneği, hastaların ruhsal bozukluklarını erken aşamalarda tespit etmeye ve tedaviye yönelik uygun

müdahaleleri planlamaya yardımcı olabilir. Ayrıca, hemşireler, hastaların yüz ifadelerini izleyerek, tedaviye verdikleri yanıtları gözlemleyebilir ve bu bilgiyi diğer sağlık profesyonelleriyle paylaşarak multidisipliner bir yaklaşımın sağlanmasına katkıda bulunabilirler. Sonuç olarak, fizyonominin psikiyatri hemşireliği pratiğinde bir araç olarak kullanılması, hem hastaların daha iyi izlenmesine hem de tedavi sürecinin iyileştirilmesine olanak tanımaktadır.

KAYNAKÇA

1. Ekman, P. (1999). *Basic Emotions*. In T. Dalgleish & M. J. Power (Eds.), *Handbook of Cognition and Emotion* (pp. 45-60). Wiley.
2. Carta, M. G. The Role of Facial Expression in Psychiatric Disorders, *Journal of Mental Health*, 22, 4, 345-352, 2013.
3. McNeill, D. *The face: a natural history*. Back Bay Books; 2000.
4. Todorov, A., Said, C.P., Engell, A.D., Oosterhof, N.N. Understanding Evaluation of Faces on Social Dimensions, *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 12, 455-460, 2008.
5. Kramer, R.S., King, J.E., Ward, R. Identifying Personality From the Static, Nonexpressive Face in Humans and Chimpanzees: Evidence of a Shared System for Signaling Personality, *Evolution and Human Behavior*, 32, 3, 179-185, 2011.
6. Wolffhechel, K., Fagertun, J., Jacobsen, U. P., Majewski, W., Hemmingsen, A. S., Larsen, C. L., ... & Jarmer, H. Interpretation of Appearance: The Effect of Facial Features on First Impressions and Personality. *Plos One*, 9, 9, e107721, 2014.
7. Qin, R., Gao, W., Xu, H., & Hu, Z. Modern Physiognomy: an Investigation on Predicting Personality Traits and Intelligence From the Human Face. *ArXiv preprint arXiv:1604.07499*, 2016.
8. Abuagla, A.C. Antik Yunan ve Roma Dünyasında Fizyonomi: Tarihsel Köken, Bakış Açısı ve Yöntem, *Akademik Tarih ve Düşünce Dergisi*, 8, 4, 1753-1772, 2021.
9. Beveridge, A. Sir Alexander Morison and The Physiognomy of Mental Diseases: Part 2. *Journal of the Royal College of Physicians of Edinburgh*, 48, 4, 352-367, 2018.
10. Ünsal, E. Türk Portre Resminde İnsana İlişkin Betimleme Çabasında Fizyonomi/İlm-İ Sima/Firâset, *Motif Akademi Halkbilimi Dergisi*, 16, 43, 1469-1491, 2023.
11. Arslan, Ö. 19. Yüzyıl Erken Dönem Psikiyatri Fotoğrafçılığının Gelişimi ve Hugh Welch Diamond, *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 25, 65-82, 2020.
12. Ekmekçi, P.E. Psikiyatri Tarihinde Bir Dönüm Noktası: 19. Yüzyılda Avrupa'daki Gelişmeler ve Etkileri, *Türkiye Klinikleri Tıp Etiği-Hukuku-Tarihi Dergisi*, 26,2, 77-85, 2018.
13. Demir, A. (2015). *Osmanlı'da İnsan Tanıma Sanatı El ve Yüz Okuma*. Yitik Hazine Yayınları. İstanbul.
14. Oommen, A., Oommen T. (2003). Physiognomy: A critical review. *J Anat. Soc. India* 52(2) 189-191, A., Oommen T. Physiognomy: A critical review. *J Anat. Soc. India*, 52, 2, 189-191, 2003.
15. Swain S. (2007). *Seeing the Face, Seeing the Soul*. Oxford University Press.Oxford.
16. Candansayar, S. ve Coşar, B. Kültürlerarası Psikiyatri Açısından Ruh Hastalığı Kavramı, *T Klin Psikiyatri*, 2, 21-30, 2001.
17. Hartley, L. (2001). *A science of mind ?Theories of nature, theories of man? Physiognomy and the Meaning of Expression in Nineteenth-Century Culture* (s.15-43) içinde. Cambridge: Cambridge University Press.

18. Yumrul, A. (2012). Ötekiliği Bedenlere Kaydetmek. Çayır K., Ayan Ceyhan M.(Ed.), Ayrımcılık Çok Boyutlu Yaklaşımlar (s. 89- 96) içinde. İstanbul: Bilgi Üniversitesi Yayınları.
19. Rutanen, J. (2015). Phototherapy and Therapeutic Photography: The Healing Power of Photographs, Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Leiden University/ Film and Fotographic Studies, Leiden.
20. Özbaş, D., Buzlu, S. Geçmişten Günümüze Psikiyatri Hemşireliği, Florence Nightingale Journal of Nursing, 19, 3, 187-193, 2011.
21. Olcay, E.E. Farkındalık ve Psikiyatri Hemşireliği, Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi, 21,2, 159-168, 2005.
22. Polat, H., Karakaş, S.A. Adli Psikiyatri Hemşireliği, Ebelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi, 3,3,225-232, 2020.

KİŞİLERARASI İLİŞKİLER VE SOSYAL RİTİM TERAPİSİ: RUHSAL SORUNLARIN TEDAVİSİNDE BÜTÜNSEL BİR YAKLAŞIM VE PSİKİYATRI HEMŞİRELİĞİNİN ROLÜ

Arş. Gör. Dr. Elif Güzide EMİRZA

Ondokuz Mayıs Üniversitesi,
guzzide@hotmail.com - 0000-0003-3652-2428

Arş. Gör. Dr. Kübra GÜLİRMAK GÜLER

Ondokuz Mayıs Üniversitesi,
k_1058_g@hotmail.com - 0000-0003-4450-3737

ÖZET

Ruhsal bozukluklar, genellikle bireylerin çevreleriyle olan ilişkilerindeki bozulmalar ve günlük ritimlerinde yaşadıkları düzensizlikler ile ilişkilidir. Kişilerarası İlişkiler Terapisi ve Sosyal Ritim Terapisi, bu sorunları ele alarak bireylerin hem içsel dünyalarını hem de dışsal çevreleriyle olan etkileşimlerini düzenlemeyi hedefler. Bu derlemenin amacı, kişilerarası ilişkiler ve Sosyal Ritim Terapisinin ruhsal sorunların tedavisindeki bütünsel etkileri ve psikiyatri hemşireliğinin rolünü incelemektir. Ruhsal bozukluklar, sosyal ilişkilerinde yaşadıkları zorluklarla ve günlük yaşam ritmindeki düzensizliklerden kaynaklanabilir. Bazı durumlarda sosyal ilişkilerde zorluklar ve yaşam ritmindeki düzensizliğin nedeni ruhsal sorunlardan da kaynaklanabilir. Her iki durum için de bireyin sosyal ritminin düzenlenmesi ve çevreyle olan ilişkilerinin desteklenmesi büyük önem taşımaktadır. Kişilerarası ilişkiler terapisi, bireylerin ilişkilerindeki olumsuz desenleri keşfederek, sağlıklı iletişim becerilerini geliştirmelerine yardımcı olur. Ayrıca bireylerin sosyal bağlarını güçlendirerek yalnızlık ve sosyal izolasyon gibi ruhsal sorunların üstesinden gelmeleri için cesaretlendirir. Sosyal Ritim Terapisi ise, bireylerin günlük yaşam döngülerini (uyku, yemek, egzersiz) düzenleyerek, biyolojik saatlerini dengelemeye çalışmaktadır. Her iki terapi yöntemi, depresyon, anksiyete, bipolar bozukluk gibi ruhsal bozuklukların tedavisinde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Kişilerarası ilişkilerin güçlendirilmesi ve sosyal ritimlerin düzenlenmesi, özellikle depresyon, anksiyete, bipolar bozukluk gibi ruhsal bozukluklarda iyileşme sürecini destekleyebilmektedir. Bu bütünsel yaklaşım, tedavi sürecine yeni bir perspektif kazandırmakta ve ruhsal sorunların daha etkili bir şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır. Sonuç olarak, Kişilerarası İlişkiler ve Sosyal Ritim Terapisi, ruhsal sorunların tedavisinde entegre bir yöntem olarak öne çıkmakta ve bireylerin yaşam kalitelerini arttırmaya yönelik önemli bir tedavi seçeneği sunmaktadır. Bu bağlamda psikiyatri profesyonellerinden olan psikiyatri hemşireleri ruhsal sorunu olan bireylere bakım ve yaklaşımda psikoterapötik yaklaşımlardan kişilerarası ilişkiler ve sosyal ritim terapisini etkili olarak kullanabilirler.

Anahtar Kelimeler: Kişilerarası ilişkiler terapisi, sosyal ritim terapisi, biyolojik saat, ruhsal sorunlar, psikiyatri hemşireliği

INTERPERSONAL RELATIONSHIPS AND SOCIAL RHYTHM THERAPY: A HOLISTIC APPROACH TO THE TREATMENT OF MENTAL PROBLEMS AND THE ROLE OF PSYCHIATRIC NURSING

Arş. Gör. Dr. Elif Güzide EMİRZA

Ondokuz Mayıs University,
guzzide@hotmail.com - 0000-0003-3652-2428

Arş. Gör. Dr. Kübra GÜLİRMAK GÜLER

Ondokuz Mayıs University,
k_1058_g@hotmail.com - 0000-0003-4450-3737

ABSTRACT

Mental disorders are often associated with disruptions in individuals' relationships with their environment and irregularities in their daily rhythms. By addressing these problems, Interpersonal Relationship Therapy and Social Rhythm Therapy aim to regulate both the inner world and the interactions of individuals with their external environment. The aim of this review is to examine the holistic effects of Interpersonal Relationships and Social Rhythm Therapy in the treatment of mental problems and the role of psychiatric nursing. Mental disorders can be caused by difficulties in social relationships and irregularities in the rhythm of daily life. In some cases, difficulties in social relationships and irregularities in the rhythm of life may also be caused by mental problems. In both cases, it is of great importance to regulate the social rhythm of the individual and to support his/her relations with the environment. Interpersonal therapy helps individuals to develop healthy communication skills by discovering negative patterns in their relationships. It also encourages individuals to overcome mental problems such as loneliness and social isolation by strengthening their social ties. Social Rhythm Therapy, on the other hand, tries to balance the biological clocks of individuals by regulating their daily life cycles (sleep, eating, exercise). Both therapy methods are effectively used in the treatment of mental disorders such as depression, anxiety and bipolar disorder. Strengthening interpersonal relationships and regulating social rhythms can support the healing process, especially in mental disorders such as depression, anxiety and bipolar disorder. This holistic approach brings a new perspective to the treatment process and enables more effective management of mental problems. In conclusion, Interpersonal Relationships and Social Rhythm Therapy stands out as an integrated method in the treatment of mental problems and offers an important treatment option to improve the quality of life of individuals. In this context, psychiatric nurses, who are psychiatric professionals, can effectively use interpersonal relationships and social rhythm therapy from psychotherapeutic approaches in the care and approach to individuals with mental problems.

Keywords: Interpersonal relations therapy, social rhythm therapy, biological clock, mental problems, psychiatric nursing

7. GİRİŞ

Klerman ve Weissman'ın (1984) tekrarlayan depresyon için geliştirdiği kişilerarası terapi modeli, Frank ve arkadaşları (2000) tarafından bipolar bozukluğu olan hastalara uyarlanarak yeni bir yaklaşım şekli almıştır. Bu terapi, duygudurum bozukluklarını açıklamaya yönelik psiko-kronobiyolojik teorilerden ve Goodwin ile Jamison'un (1990) iki uçlu bozukluğu olan hastalar için önerdikleri düzensiz yaşam modeli üzerine inşa edilmiştir (Ehlers ve ark., 1988; Monk ve ark., 1990). Terapi, stresli yaşam olaylarının duygudurum değişiklikleriyle ilişkisini vurgulamaktadır. Psikolojik ve biyolojik faktörlerin biyolojik saati etkileyerek duygudurum bozukluklarının alevlenme dönemlerini tetikleyebileceği görüşü temel alınarak, sosyal ritmi düzenlemenin ve duygudurum belirtilerini azaltmanın mümkün olduğu savunulmaktadır. Bu bakış açısıyla, Kişilerarası İlişkiler ve Sosyal Ritim Terapisi (KİSRT) sosyal ritmi dengeleyerek yinelemeleri engellemeyi ve duygudurum sorunlarını hafifletmeyi amaçlar. Kişilerarası ilişki sorunlarına yönelik çözüm önerilerinin yanı sıra, terapide bilişsel-davranışçı teknikler de kullanılmaktadır (Çakır, Özerdem, 2010). KİSRT'nin temel varsayımı, bireylerin duygudurumları ile kişilerarası ilişkilerinde yaşadıkları olayların birbirini etkileyen bir bağlantıya sahip olduğudur. Terapi, bireyleri anlamada biyopsikososyal, kültürel ve manevi bir modeli esas alır. Depresyonun biyolojik veya psikolojik kökenlerini göz ardı etmeyip, aynı zamanda depresyonu sosyal bağlamda ortaya çıkan bir tıbbi durum olarak tanımlar (Altın, 2012).

KİSRT, hastalara akut dönemin ardından dört aşamalı bir süreçle uygulanır (Frank ve ark., 2000). İlk aşamada, geçmiş hastalık dönemleri ve hastanın kişilerarası ilişkilerinin yapısı analiz edilir, temel sorun alanları belirlenir ve sosyal ritimler ölçülerek psikoeğitimle düzenlenir (Ehlers ve ark., 1988; Monk ve ark., 1990). İkinci aşamada, terapist ve hasta, hastalık dönemleriyle ilişkili kişisel sorunları çözmek ve günlük yaşamın düzenini sağlamak için işbirliği yapar. Üçüncü aşama, hastanın daha bağımsız hale gelmesi ve KİSRT'nin belirlediği alanlarda yetkinliğini artırması amacını güder (Ehlers ve ark., 1988; Monk ve ark., 1990; Frank ve ark., 2000). Son olarak, sonlanma aşamasında hastanın işlevselliğini geliştirmesi, bağımsız yaşam becerilerini kazandığı ve yinelemeleri önlemek için gerekli stratejileri kullandığı hedeflenir (Frank ve ark., 2000; Çakır & Özerdem, 2010).

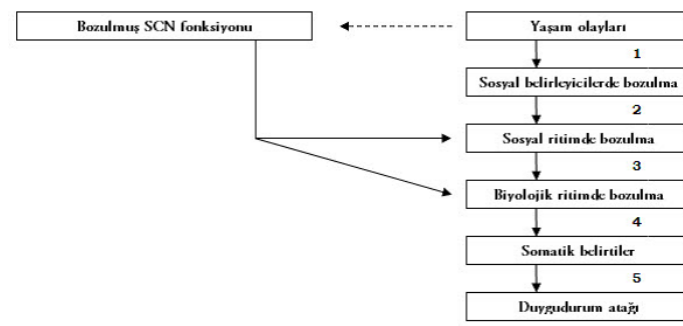
8. DUYGUDURUM BOZUKLUKLARINDA SİRKADYEN RİTİM

Sirkadyen ritim, yaklaşık 24 saatlik bir döngüyü tanımlar. Bu ritim, melatonin salgısının pineal bezden salınımı, vücut sıcaklığındaki düzenlemeler ve plazma kortizol seviyelerindeki değişiklikler gibi 24 saatlik periyotlarla tekrarlayan biyolojik olaylarla gözlemlenir (Ruan ve ark., 2021). Bu 24 saatlik ritimler, beyindeki moleküler saat mekanizmaları tarafından kontrol edilir ve her gün aydınlık-karanlık döngüsüyle tam olarak 24 saate sıfırlanır. Hipotalamustan gelen bilgiler, humoral ve sinirsel iletişim yoluyla tüm vücuda zamansal bilgi aktarır (Walker ve ark., 2020; Ruan ve ark., 2021).

8.1.Sirkadyen Ritmin Düzenlenmesi

Sirkadyen ritim, vücutta yaklaşık 24 saatlik bir döngüyle gerçekleşen davranışsal ve fizyolojik değişiklikleri tanımlar ve bu ritimler, içsel biyolojik saatler (pacemaker, oscillator) tarafından düzenlenir. Aynı zamanda çevresel uyaranlar, yani "zeitgeber"lar, bu ritimleri senkronize eder. İnsanlarda, sirkadyen sistemin işleyişini retina, retinohipotalamik yol, pineal bez ve suprakiazmatik nükleus gibi yapılar sağlar, ancak bu ritimleri ayarlayan pek çok faktör vardır. En önemli ritim düzenleyicisi ise ışıktır (Reid, 2019; Walker ve ark., 2020). Işık, retina üzerindeki gangliyon hücrelerinden retinohipotalamik yol aracılığıyla suprakiazmatik nükleusa ulaşır ve burada kortizol, vücut sıcaklığı ve tiroid hormonları gibi sirkadyen ritmin düzenlenmesinde önemli rol oynar. Suprakiazmatik nükleustan çıkan ana yolak, paraventriküler nükleus üzerinden pineal bezle bağlantı kurar. Melatonin, pineal bezden salgılanan ve uyku düzenini başlatan bir hormondur (Reid, 2019). Melatonin üretimi, kişinin yatma alışkanlıklarına yakın bir saatte artarak akşam uykululuğunu artırır. Uykuya geçişle birlikte melatonin seviyesi yükselir ve bu hormon, suprakiazmatik nükleusla ilişkilendirilmiş gamma-aminobütirik asit (GABA' erjik) mekanizmalarını aktive ederek nükleusun uyarılmasını engeller ve uykunun başlamasına yardımcı olur. Sirkadyen ritimler, sadece ışıkla değil, aynı zamanda yemek yeme, egzersiz, uyuma-uyanma zamanları ve sosyal etkileşim gibi faktörler tarafından da senkronize edilebilir (Selvi ve ark., 2011; Reid, 2019; Walker ve ark., 2020).

Duygudurum bozuklukları, sıklıkla mevsimsel değişikliklerle ilişkili olarak ritmik bir seyir izler. Bipolar bozukluğu olan bireylerde, duygudurum atakları sırasında sirkadyen ritim ve uyku-uyanıklık döngülerinde belirgin bozulmalar gözlemlenir (McClung, 2013). Sirkadyen ritim yalnızca vücut ısısı, hormon salınımı ve uyku döngülerini değil, aynı zamanda psikomotor beceriler, bilişsel işlevler ve duygudurum üzerinde de etkili olur. Bu ritim, aynı zamanda monoamin sistemini de düzenler (Selvi ve ark., 2011). Sirkadyen ritimdeki bozulmalar, hipotalamus-pitüiter-adrenal aksındaki ve monoamin sistemindeki dengesizliklere yol açarak, kişinin depresyon, hipomani ve mani arasında geçiş yapmasına yatkınlık oluşturabilir. Sirkadyen ritmin düzenlenmesinden sorumlu olduğu düşünülen saat geni (clock gene) üzerinde yapılan çalışmalarda, bu genin mutasyonu sonucu farelerde görülen hiperaktivite, uyku ihtiyacındaki azalma ve kaygı düzeylerinde azalma gibi manik belirtilere benzer davranışlar gözlemlenmiştir (McClung, 2013; Sayar ve ark., 2014).



Görsel 1. Sosyal Ritim Hipotezinin Açıklanması, (Grandin ve ark., 2006)

Sosyal ritimler, örneğin yemek yeme, çalışma veya okul saatleri gibi günlük aktiviteler, sirkadyen ritmin düzenlenmesinde ya da bozulmasında önemli bir rol oynar. Duygudurum

bozukluğu olan bireyler, sağlıklı kişilerle karşılaştırıldığında genellikle daha düzensiz sosyal ritimlere sahip olurlar. Sosyal ritim teorisi, yaşam olaylarının depresyon, mani veya hipomani gibi duygudurum değişimlerini tetikleyen biyolojik değişikliklere yol açtığını öne sürer (Grandin ve ark., 2006). Bu teoriye göre, günlük aktivitelerin zamanlamasında meydana gelen değişiklikler, örneğin yemek, egzersiz, okul ya da iş saatleri, uyku düzeni ve melatonin üretimi gibi biyolojik aktivitelerin ritimlerini bozarak duygudurum bozukluklarının ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu tür sosyal ritim bozukluklarının, uyku düzensizlikleri ve melatonin gibi biyolojik ritimlerdeki anormalliklere yol açtığı düşünülmektedir (Grandin ve ark., 2006; Rei, 2019).

Sosyal zeitgeber teorisi, stresli yaşam olaylarının, uyku saati, yemek saati ve uyanma zamanı gibi sosyal zamanlayıcıların (zeitgeber'lar) düzenini bozarak, sirkadyen ritminde bozulmalara yol açabileceğini ve bunun da duygudurum atağına neden olabileceğini ileri sürer. "Zeitgeber" terimi Almanca kökenlidir; "Zeit" zaman, "geben" ise vermek anlamına gelir (Gıca & Selvi, 2021). Sosyal zeitgeber'lar, biyolojik ritimleri, örneğin sirkadyen ritmimizi ve uyku-uyanıklık döngüsünü etkileyen sosyal faktörlerdir. Bu faktörler arasında kişilerarası ilişkiler, yaşam evreleri ve sosyal gereksinimler gibi etmenler bulunur. Bu etmenler, biyolojik ritimler üzerinde bozulmalara yol açan sosyal zamanlayıcıları (zeitgeber) etkileyebilir (Sayar ve ark., 2014).

Güneşin doğuşu ve batışı, canlılar için en güçlü "zeitgeber" olarak kabul edilir. Modern yaşamın getirdiği 24 saatlik kesintisiz şehir yaşamı, esnek çalışma saatleri, vardiyalı iş düzeni, trafik nedeniyle geciken öğün saatleri, kilo verme amaçlı atlanan yemekler ve televizyon programlarına bağlı olarak şekillenen uyku düzeni, doğal güneş ışığının belirlediği biyolojik ritmi bozabilir (Sayar ve ark., 2014; Gıca & Selvi, 2021). Bu biyolojik ritim bozuklukları, sağlıklı kişilerde genellikle kısa süreli bilişsel güçlükler veya duygudurum değişimleri gibi hafif etkiler oluşturabilir. Ancak bipolar bozukluk tanısı almış ya da yatkınlık gösteren kişilerde bu tür ritim bozuklukları, yeni bir duygudurum atağını tetikleyebilir. Örneğin, yaz saati uygulamasına geçiş gibi küçük değişiklikler, bu kişilerin biyolojik ritmini bozarak enerji seviyelerinde ve duygudurumda dalgalanmalara neden olabilir (Ehlers ve ark., 1988; Monk ve ark., 1990; Frank ve ark., 2000).

8.2.KİSRT ve Uygulaması

Sosyal Ritim Düzenleme Terapisi (KİSRT), kişilerarası ilişkiler terapisinin temel unsurlarına dayanmaktadır. Terapinin amacı, ilk aşamada hastanın geçmişi hakkında bilgi almak, hastalığa dair psikoeğitim vermek, duygudurum belirtileriyle başa çıkmak, hastanın sosyal çevresini inceleyerek bu çevrenin duygudurum bozukluğuyla olan ilişkisini anlamak ve mevcut kişilerarası sorunları çözmeye çalışarak yenilerinin ortaya çıkmasını engellemektir (Lemma ve ark., 2024). Sosyal ritmin bozulması, stresli yaşam olayları nedeniyle olabilir ve bu da tedaviye uyumun azalmasına yol açabilir. Sosyal zeitgeber'lar ve biyolojik ritimlerin etkilerini incelerken, kişinin çevresiyle olan ilişkileri ve uyum yeteneği de göz önünde bulundurulmalıdır. Uyku, genellikle bireysel bir deneyim olarak algılansa da, yatak partnerlerinin uykusuzluk üzerinde önemli bir etkisi olabilir (Rogojanski, 2013). Örneğin, sorunlu bir evlilik ilişkisinin oluşturduğu sosyal stres, eşlerin birlikte yatak odasına gitmekten kaçınması sonucu uyku saatlerini değiştirmelerine yol açarak, psikososyal etkilerle biyolojik ritmin bozulmasına neden

olabilir. KİSRT, günlük sosyal ve biyolojik ritmi dengelemeyi amaçlayan bir psikoterapi yöntemidir. Bu terapi, sadece biyolojik ritimler ve uyku-uyanıklık döngülerini değil, aynı zamanda kişilerarası ilişkiler ve sosyal roller üzerinde de çalışarak, sosyal ritmin düzeltilmesine odaklanır (Frank ve ark., 2000; Lemma ve ark., 2024).

KİSRT beş ana konuyu ele almaktadır (Frank ve ark., 2000):

1. Yaşam olayları ile duygudurum değişimlerinin arasındaki ilişkiyi belirlemek,
2. Günlük rutinleri düzenli hale getirmek,
3. Kişilerarası ilişkilerde ve günlük yaşamda sosyal ve biyolojik ritmi bozan faktörleri tespit etmek,
4. Hastalık nedeniyle kaybedilen "sağlıklı ben" duygusuyla başa çıkmak,
5. Affektif belirtileri tespit etmek ve bunlarla ilgili müdahale yapmak.

KİSRT terapisi, başlangıç, ara dönem, devam dönemi ve sonlandırma olarak dört aşamadan oluşan bir süreçten geçer (Frank ve ark., 2000; Rogojanski, 2013; Lemma ve ark., 2024).

- *Başlangıç Dönemi:* KİSRT'nin başlangıç aşamasında, ilk olarak hastanın geçmiş hastalık öyküsü alınır, kişilerarası ilişkileri gözden geçirilir ve mevcut sorunlu alanlar tespit edilir. Bu dönemde, hastaya hastalık hakkında psikoeğitim sağlanır. Başlangıç sürecinde hasta, akut atak halinde olabileceği gibi, ötimik (duygusal denge) bir dönemde de olabilir. Ancak terapi akut atak sırasında başlatılmışsa, hastanın dikkat dağınıklığı ve terapiye uyumda zorluklar yaşanabilir (Frank ve ark., 2000; Lemma ve ark., 2024). Genellikle bu evre birkaç hafta ile birkaç ay arasında sürer ve hastanın haftada bir kez görülmesi önerilir (Frank ve ark., 2000). Hastalık öyküsü alınırken, geçmişteki duygudurum değişimlerini tetikleyen olaylar, kişiler arası problemler ve sosyal ritim bozuklukları üzerinde durulur. Hastadan, hayatındaki önemli olayları ve bu olaylarla bağlantılı kişilerle olan ilişkilerini listelemesi istenir. Bu kişilerle yaşadığı hayal kırıklıkları, karşılaştığı beklentiler ve ilişkilerdeki değişim isteği sorgulanır. Kişilerarası sorunların, hastanın duygudurumuyla olan ilişkisi de tartışılır (Frank ve ark., 2000; Rogojanski, 2013). Bu süreç, terapi sürecinin ilerleyen aşamalarında odaklanılacak konuları belirlemede yardımcı olur. Başlangıç aşamasındaki psikoeğitimde, hastaya bipolar bozukluğun semptomarı, hastalığın kronik doğası, ilaçların etkileri ve olası yan etkileri ve düzenli ilaç kullanımının önemi gibi temel bilgiler verilir. Ayrıca, sosyal ve biyolojik ritmin düzeninin, hastalık belirtileri üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde açıklanır (Sayar ve ark., 2014; Lemma ve ark., 2024). Hastalık öyküsünün alınması sırasında, bazen zaman çizelgesi oluşturulabilir, bu da hastanın geçmişteki önemli olayları ve duygudurum değişimlerini görselleştirmek için faydalı olabilir (Frank ve ark., 2000).

KİSRT uygulamasında Monk ve arkadaşları tarafından geliştirilen **Sosyal Ritim Cetveli (SRM: Social Rhythm Metric)** kullanılarak, hastadan günlük rutinlerini takip etmesi istenebilir. Uygulamada, terapist de bu tür bir formu kendisi oluşturabilir. SRC uygulaması formunda, hastanın sabah yataktan kalkma saati, bir başkasıyla ilk etkileşim kurma saati, yemek saatleri, yatma zamanı ve diğer belirli aktiviteler kaydedilir (Monk ve ark., 1990; Frank ve ark., 2000). Ayrıca, bu aktivitelerin kimlerle yapıldığı ve kişiyi uyarıcılık durumu da belirtilir. Formda, kişiden haftanın her günü için duygudurumunu ve duygulanımını değerlendirmesi istenir (Monk ve ark., 1990).

ID: _____ Adapted SRM-5 Initials: _____

Directions:

- Record the ideal (or target) time you would like to do these daily activities
- Record the time you actually did the activity each day
- Record the people involved in the activity: 0 = Alone; 1 = Others present; 2 = Others actively involved; 3 = Others very stimulating

Day and Date:	Target time	Time	People	Time	People	Time	People	Time	People	Time	People	Time	People
Out of bed													
First contact with other person													
Start work/school/ Volunteer/ family care													
Dinner													
To bed													

Rate ENERGY LEVEL each day from -5 to +5
-5 = very slowed, fatigued / +5 = very energetic, active

Görsel 2. Uyarlanmış SRM-5, (Frank ve ark., 2007)

- Ara Evre: İlk 3-4 haftalık dönemde, hastanın kendi doğal davranışları ve günlük kayıtları gözlemlendikten sonra terapinin ara aşamasına geçilir. Bu aşamada, sosyal ve biyolojik ritim bozukluklarına neden olan faktörler için davranışa yönelik müdahaleler önerilir. Örneğin, yatma saatleri düzensizse, belirli bir saatte yatağa gitmesi teşvik edilebilir; hafta içi ve hafta sonu arasındaki uyku-uyanıklık düzeni çok farklıysa bu farkın azaltılması hedeflenir (Monk ve ark., 1990; Frank ve ark., 2000). Rutin çalışma saatleri olmayan bir işte çalışan bireyler için belirli bir mesai saati önerilebilir. Düzensiz öğün saatleri olan hastalar için yemek düzeni oluşturulması planlanır. Ayrıca, sosyal ilişkilerin bir düzene oturtulması ve aşırı uyarıcı etkinliklerin azaltılması gibi adımlar da atılabilir. Birçok hastada, uyku-uyanıklık saatlerindeki düzensizlik kişisel tercihlerden kaynaklanmaktadır (Sayar ve ark., 2014; Lemma ve ark., 2024). Bu durumda, psikoeğitim sürecinde sosyal ritmin, biyolojik ritim ve hastalık süreci üzerindeki etkileri özellikle vurgulanmaktadır. Ancak, uyku düzeni hastalığın bir belirtisi olarak bozulmuşsa, ilaç tedavisiyle uyku saatleri yeniden düzenlenebilir (Monk ve ark., 1990; Sayar ve ark., 2014).

Araştırmalar, uyku düzeni oluşturulurken, belirli bir uyanma saati belirlemenin, uyuma saatini belirlemekten daha etkili olduğunu göstermektedir. Haftalık terapilerde, hastaların günlük kayıtları gözden geçirilir ve bir sonraki hafta için hedefler belirlenir (Sayar ve ark., 2014). Sorunun içeriği ve süreci hakkında bilgi toplandıktan sonra, hastanın sosyal ritmini düzenlemeye yönelik olarak, sorun çözme ya da sosyal ve biyolojik ritmin bozulmasını önlemek için atılacak adımlar belirlenir (Sayar ve ark., 2014; Lemma ve ark., 2024). Sosyal ritmi düzenlerken, kişilerarası çatışmaların çözüm yolları da ele alınır. Ayrıca, kişinin rol değişiklikleri, KİSRT çerçevesinde sosyal ritmi olumsuz etkileyebilecek unsurlar arasında sayılabilir. Rol geçişleri, boşanma, çocukların evden ayrılması, emeklilik gibi kayıpların yanı sıra, doğum, iş değişikliği ya da terfi gibi olumlu değişikliklerle de gerçekleşebilir. Böyle bir rol değişikliği, hem kişinin sosyal hem de biyolojik ritmini etkileyebilir (Carta, 2013).

- İdame Evresi: Bu aşamada, birey kendi biyolojik ve sosyal ritmini tanıyarak ve önceki evrelerde kazandığı becerileri uygulamada yetkinlik kazanır. Bu aşamada amaç, sosyal ve biyolojik ritmin sürekliliğini sağlamak, tatil gibi dönemlerde ve beklenmedik yaşam olayları karşısında rutinlerin bozulmamasını temin etmektir. İdame evresinde, terapinin sıklığı başlangıçta iki haftada bir, ardından ise ayda bir indirgenir (Sayar ve ark., 2014). Her gün tamamen aynı ritmin uygulanması yerine, yoğun günlerin ardından daha sakin günler planlanabilir. Ancak hastanın ilerleyen süreçteki çizelgeleri ve geri bildirimleri, pasif günlerin uzun süreye yayıldığını ve bu durumun sosyal etkileşimden kaçınmaya yol açtığını gösteriyorsa, yeni bir davranışsal aktivasyon stratejisi devreye alınır. Davranışsal aktivasyon, uzun yıllardır depresyon tedavisinde kullanılan bir yöntem olup, hastanın hoşlandığı ve

kendini yetkin hissettiği aktivitelerin sıklığını artırmaya dayanır (Carta, 2013). Jacobson ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, yalnızca davranışsal aktivasyon uygulanan grup ile tam kapsamlı bilişsel davranışçı terapi uygulanan grup arasında depresyon belirtilerinde anlamlı bir fark bulunmamıştır (Jacobson ve ark., 1996). Bu etkinliği yüksek olan teknik, KİSRT'nin idame aşamasında da uygulanır. Bu evrede, hastanın bir önceki hafta içindeki aktivite düzeyi ve gelecek hafta için beklentileri sorgulanır. Yeterli aktivite olmadığı takdirde, belirli günlük aktiviteler, hatta saatli planlamalar yapılabilir (Jacobson ve ark., 1996; Carta, 2013). Bipolar bozukluğu olan hastalarda, depresyon döneminde bu teknik uygulanırken, manik evrede sosyal ritim yavaşlatılabilir.

KİSRT, hastanın özel durumlarına göre uyarlanabilir. Örneğin, premenstrüel dönemde duygudurum dalgalanmaları yaşayan bir hasta için, adet döngüsünü kayıtlara eklemesi istenebilir. Eğer hastalığın doğal seyri hakkında belirli dalgalanmalar önceden tahmin edilebiliyorsa, hastanın bu değişimlere uyum sağlamasına yardımcı olacak düzenlemeler yapılabilir (Oral ve ark., 2011). Örneğin, adet öncesi günlerde hafif egzersizler eklenebilir ya da adet döneminde sosyal aktiviteler sınırlandırılabilir. Terapistin, hastanın aynı zamanda hekimi olduğu durumlarda, tedavi sürecinin idame aşamasında ilaç uyumu izlenir, duygudurum dalgalanmalarına göre ilaçlar düzenlenebilir ve yan etkiler gözlemlenir. Lityum kullanan hastalarda, örneğin poliüri nedeniyle uyku düzeni bozulabilir ve bu da biyolojik ritmin aksamasına yol açabilir (Sayar ve ark., 2014; Lemma ve ark., 2024). Ayrıca, tedavi sürecindeki psikotrop ilaçlar da uyku düzenini olumsuz yönde etkileyebilir. Riskli hastalarda alkol ve madde kullanımı izlenirken, obezite problemi olan hastalar için beslenme önerileri ve egzersiz planları KİSRT'nin bir parçası olarak dahil edilebilir (Oral ve ark., 2011).

- **Sonlandırma:** Bipolar bozukluğun uzun süreli ve tekrarlayan bir seyir izlediği göz önünde bulundurulduğunda, terapinin sıklığı zamanla azalabilir ve yıllarca süren bir idame süreci oluşturulabilir. Ancak, ekonomik sıkıntılar, kriz ya da hastanın tercihi gibi sebeplerle KİSRT sonlandırılacaksa, ayda bir yapılan 3-5 seansla sonlandırma evresi gerçekleştirilebilir. Bu süreçte, hasta ile terapist arasındaki iletişimin devam etmesi önemlidir; 3-6 ayda bir yapılacak görüşmeler, hastalıkta bir yinleme meydana gelirse terapiye hızlı bir şekilde başlanabilmesini sağlar (Oral ve ark., 2011). Swartz ve arkadaşları, unipolar depresyon hastalarında KİSRT'i daha kısa süreli uygulamış ve kişilerarası ilişkilerde tek bir konuya odaklanarak başarılı sonuçlar elde etmiştir (Swartz ve ark., 2004). Örneğin, kronik evlilik çatışmalarına sahip olan ve uzun süreli terapi süreçlerinde bu çatışmalar çözülmemeyen bireylerde, kısa süreli KİSRT'nin amacı evlilikteki çatışmayı çözmek yerine, daha doyurucu bir sosyal yaşam inşa etmek olabilir. Akut manik evrelerde ise kısa süreli KİSRT, biyolojik ritmi dengeleme üzerine odaklanabilir (Swartz ve ark., 2004; Sayar ve ark., 2014; Lemma ve ark., 2024).

8.3.KİSRT'in Etkililiği ile İlgili Araştırmalar

- KİSRT, bipolar bozukluğun tedavisinde kullanılan ve kısa süre içinde etkili sonuçlar elde edebilen bir terapötik yaklaşımdır. İlgili literatür taramalarında, KİSRT uygulanan bipolar bozukluk hastalarında hastalık ataklarının daha seyrek yaşandığı ve ataksız geçen sürelerin arttığı belirtilmiştir (Frank ve ark., 2007).
- Bir yıllık bir süreçte, bipolar bozukluk hastalarına grup terapisi şeklinde uygulanan Kişilerarası ve Sosyal Ritim Terapisi (KİSRT) ile depresif semptomlarda ve hastaneye yatış oranlarında azalma gözlemlenmiştir (Bouwkamp ve ark., 2013).

- Bipolar bozukluk tanısı almış 12 ergende yapılan bir açık çalışmada ise, KİSRT'ye katılım oranı %97 olarak belirlenmiş ve 20 hafta süresince uygulanan terapi sonucunda manik, depresif ve genel psikiyatrik belirtilerde önemli iyileşmeler kaydedilmiştir (Hlastala ve ark., 2010).
- Birinci derece akrabalarında bipolar bozukluk bulunan ergenlerle yapılan başka bir çalışmada ise, 6 ay boyunca 12 seans süresince KİSRT uygulanan gençler terapinin sonunda ve sonrasında 6 ay boyunca izlenmiş, uyku düzeni ile sirkadyen ritimde anlamlı bir iyileşme olduğu, bu düzenlemenin özellikle risk altındaki ergenler için faydalı olduğu saptanmıştır (Goldstein ve ark., 2014).
- Başka bir araştırmada, kişilerarası ilişkiler ve rol işlevlerine odaklanan KİSRT terapisi alan bipolar bozukluk hastalarının, bu alanlara ağırlık vermeyen diğer terapi yöntemleriyle tedavi edilenlere göre mesleki işlevsellikte daha hızlı bir düzelme gösterdiği bulunmuştur (Frank ve ark., 2008).
- Mulcahy ve arkadaşları (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, KİSRT grubu oluşturulmuştur. Katılımcılar doğum sonu depresyonu olan kadınlardan oluşmuştur. Kadınlar psikiyatristler, psikologlar, hemşireler, toplum ruh sağlığı çalışanları ve sosyal hizmet uzmanları tarafından araştırmacılara yönlendirilmiştir. Araştırmacılar, yönlendirilen kadınları telefonla arayarak, bu kişilerin çalışma kriterlerini karşılayıp karşılamadığını değerlendirmiştir. Çalışma kriterlerine uygun bulunan 50 kadından, 23'ü müdahale grubuna, 27'si ise kontrol grubuna random atanmıştır. Çalışmanın bağımlı değişkenleri arasında depresyon düzeyi, evlilik uyumu, sosyal destek ve anne-bebek bağlanma düzeyleri yer almıştır. Müdahale grubundaki kadınlara, yerel bir toplum merkezinde iki bireysel görüşme, sekiz grup seansı (her biri iki saat süren) ve yalnızca eşlerine yönelik iki saatlik bir görüşme düzenlenmiştir. Grup üyeleri, müdahaleden önce ve sonra Edinburgh Postnatal Depresyon Skalası, Beck Depresyon Envanteri ve Diyadik Uyum Ölçeği ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, grup üyelerinin depresif belirtilerinde önemli bir azalma olduğunu göstermiştir ve üç ay sonra yapılan değerlendirmede bu azalma devam etmiştir. Ayrıca, müdahale grubundaki kadınların evlilik ilişkilerinde ve anne-bebek bağlanmasına yönelik algılamalarında belirgin bir iyileşme gözlemlenmiştir (Mulcahy ve ark., 2010).
- Chung ve arkadaşları (2014), depresif bozukluk tanısı almış Tayvanlı hastalarda KİSRT çalışmasının etkilerini araştıran randomize kontrollü bir çalışma yürütmüşlerdir. Müdahale grubunda yer alan katılımcılar 16 hafta boyunca grup çalışmasına katılmışlar ve uygulama öncesi ve sonrasında Hamilton Depresyon Derecelendirme Ölçeği, Tayvanlılar için geliştirilmiş Depresyon Anketi ve Dünya Sağlık Örgütü Yaşam Kalitesi Ölçeği ile değerlendirilmişlerdir. Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, müdahale grubunda depresyon şiddetinde önemli ölçüde bir azalma ve hastaların yaşam kalitelerinde artış gözlemlediklerini belirtmişlerdir. Ayrıca, araştırmacılar grup çalışmalarında kişilerarası etkileşimi onarma üzerine odaklanmanın depresif bozukluğa sahip kişilerin sosyal etkileşim sorunlarını düzelttiğini belirtmişlerdir (Chung ve ark., 2014).
- Grupla ya da bireysel KİSRT uygulamaları sadece bipolar bozukluk ya da depresyon tanısı almış kişilere değil, aynı zamanda travma sonrası stres bozukluğu ve yeme bozukluğu olan hastalarla da yapılmış ve KİSRT etkinliği kanıtlanmıştır (Ray & Webster, 2010).

9. KİSRT VE PSİKİYATRİ HEMŞİRELİĞİNİN ROLÜ

Psikiyatri hemşireleri ruhsal sorunu olan bireylere psikoterapötik yaklaşımlarda bulunabilmektedir. Bu bağlamda gözlem ve analiz aşamasında önemli rolleri olan psikiyatri hemşirelerinin KİSRT uygulayabilmeleri, bireylerin sosyal ritimleri ve biyolojik saatlerini de yakından gözlemleyebildikleri için son derece işlevsel olabilmektedir. Psikiyatri hemşireleri, hastaların tedavi sürecinde sadece fiziksel bakım sağlamaz, aynı zamanda psikolojik destek vererek onların sosyal ve duygusal iyilik hallerini iyileştirmeye çalışmaktadırlar (Olçay, 2005).

Psikiyatri hemşireleri, sosyal ritim terapisi gibi psikoterapötik yaklaşımlarda hastaların bakım sürecine aktif bir şekilde katılır. Hemşireler, terapilerin uygulanmasında rehberlik eder, hastaların terapiye uyum sağlamalarına yardımcı olur ve aynı zamanda kişisel bakım süreçlerini düzenler. Psikiyatri hemşireliği, hastaların sadece fiziksel sağlıklarını izlemekle kalmaz, aynı zamanda onların sosyal ve psikolojik durumlarını göz önünde bulundurarak tedavi sürecini bütüncül bir şekilde ele alır (Ünal & Çam, 2005). Hemşirelerin kişisel ritim bozukluklarını fark etmeleri, sosyal etkileşim sorunları yaşayan hastalarla empatik bir yaklaşım sergilemeleri önemlidir. Bu süreçte hemşireler, bireylerin duygusal ihtiyaçlarına duyarlı olarak onların tedaviye uyumlarını arttırabilir ve iyileşme süreçlerine katkı sağlayabilir (Olçay, 2005; Ünal & Çam, 2005).

Kişilerarası ilişkiler, sosyal ritim terapisi ve psikiyatri hemşireliği arasındaki bu etkileşim, ruhsal hastalıkların tedavisinde kritik bir rol oynamaktadır. Sosyal bağların güçlendirilmesi ve sosyal ritimlerin düzenlenmesi, hastaların tedavi süreçlerine olumlu yansır. Psikiyatri hemşireleri, hastaların kişisel ritimlerini anlamak, onları dinlemek ve tedavi sürecinde rehberlik etmek suretiyle önemli bir destek sağlarlar. Hemşirelerin bu tür terapilerdeki aktif rolü, ruhsal iyileşme sürecini hızlandırır ve hastaların yaşam kalitesini arttırmaktadır (Ünal & Çam, 2005). Hemşirelerin, hastaların psikolojik durumlarına dair dikkatli gözlemler yapmaları, kişisel bakımın ötesinde, terapötik bir yaklaşımla hastaların sosyal ritimlerini güçlendirmelerine yardımcı olmalarını sağlamaktadır (Olçay, 2005; Ünal & Çam, 2005).

10. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

KİSRT, hastalığını kabul etmiş ve tedaviye motive olmuş bireylerde uygulanması oldukça kolay bir terapi yöntemidir. Ancak hastalığa yönelik farkındalığı düşük, hastalığın kronik doğasını reddeden hastalarda, öncelikle "sağlıklı benlik" kaybının duygusal yönleri üzerinde çalışmak ve yoğun bir psikoeğitim süreci uygulamak gereklidir (Chung ve ark., 2014). Bu terapide, bipolar bozukluk kronobiyojik bir bakış açısıyla ele alınır. Bipolar bozuklukta, sosyal ritim değişikliklerinin ve sirkadyen ritim bozukluklarının duygudurum epizotlarını tetikleyebileceği düşünülmektedir. Bu yaklaşım, hastalığa yatkın bireylerin biyolojik ve sosyal ritimlerinin bozulmasının, duygudurum değişikliklerine yol açabileceğini öne sürer. KİSRT, kişilerarası psikoterapiyi, bireylerin günlük rutinlerini düzenlemeyi amaçlayan davranışsal stratejilerle birleştirir (Frank ve ark., 2008). Yeterli psikoeğitim ve farmakoterapiye rağmen sürekli duygudurum atakları yaşayan bipolar bozukluk hastalarında, hastalığın nüks etme sıklığını azaltmaya yönelik etkili bir strateji olarak KİSRT kullanılabilir (Sayar ve ark., 2014).

Psikiyatri hemşireleri de psikoterapötik müdahalelerden olan KİSRT uygulamasında aktif rol oynayabilmektedirler (Ünal & Çam, 2005).

11. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

KİSRT, ruhsal bozuklukların tedavisinde bütünsel bir yaklaşım olarak son yıllarda önemli bir yer edinmiştir. Özellikle bipolar bozukluk ve depresyon gibi duygudurum bozukluklarında etkili olduğu kanıtlanmış olan bu terapi yöntemi, sadece bireysel semptomları hedef almakla kalmayıp, aynı zamanda kişinin sosyal çevresi, günlük rutinleri ve biyolojik ritmiyle ilişkisini de ele alır. Bu bütünsel yaklaşım, psikolojik, sosyal ve biyolojik faktörlerin etkileşimini anlamayı ve tedaviye entegre etmeyi amaçlar.

KİSRT'nin, duygudurum bozukluklarında önemli bir tedavi aracı olarak kabul edilmesinin birkaç ana nedeni vardır. İlk olarak, terapi, kişilerin sosyal ilişkilerini güçlendirerek, duygusal destek ve etkileşimin önemini vurgular. İkinci olarak, günlük ritimler ve sirkadyen döngülerin düzenlenmesi, özellikle bipolar bozukluk gibi hastalıklarda duygudurum epizotlarının sıklığını azaltmada önemli rol oynar. Araştırmalar, KİSRT'nin duygusal düzenleme, uyku düzeni, sosyal etkileşimler ve günlük rutinlerin yapılandırılması yoluyla hastaların yaşam kalitesini iyileştirdiğini göstermektedir.

KİSRT'nin etkinliğini artıran bir diğer faktör, hastanın tedavi sürecine aktif katılımını teşvik etmesidir. Terapi, bireylerin kendi duygusal durumlarını anlamalarına, stresle başa çıkma yöntemlerine ve yaşamlarındaki olumsuz ritim değişikliklerini tanıyıp düzenlemelerine yardımcı olur. Bunun yanı sıra, psiko eğitim ve davranışçı müdahalelerin birleşimi, hastaların terapiden daha yüksek fayda sağlamalarını sağlar. Ancak, KİSRT'nin her birey için uygun olmayabileceğini de göz önünde bulundurmak gereklidir. Terapinin başarı oranı, kişinin hastalığına ilişkin farkındalığı, tedaviye motivasyonu ve terapistle karşı duyduğu güvenle doğrudan ilişkilidir. KİSRT'nin, hastalığa dair farkındalık oluşturmak ve sosyal ritimleri yeniden yapılandırmak gibi hedeflere ulaşabilmesi için hastaların terapi sürecine aktif bir şekilde katılmaları ve uygun psiko eğitim almaları önemlidir. Ayrıca, KİSRT genellikle farmakoterapi ile desteklenmesi gereken bir tedavi yaklaşımıdır ve tek başına yeterli olmayabilir.

Sonuç olarak, KİSRT, özellikle bipolar bozukluk ve depresyon gibi duygudurum bozukluklarında, farmakoterapiye ek olarak önemli bir destekleyici tedavi stratejisi olarak değerlendirilebilir. Terapi, bireylerin sosyal bağlarını güçlendirirken, biyolojik ritimleri düzenlemelerine de yardımcı olur, böylece hastalıkların nüks etme oranlarını azaltabilir. KİSRT'nin etkinliği, doğru hasta seçimi, terapistin deneyimi ve tedaviye uyum gibi faktörlere bağlıdır. Bu terapi yaklaşımının, psikoterapi literatüründe önemli bir yer edinmesi ve gelecekte daha geniş bir hasta kitlesine uygulanabilir olması beklenmektedir. Kişilerarası ilişkiler ve sosyal ritim terapisi, psikiyatri hemşireliği ile birleştiğinde, bireylerin sosyal ve duygusal iyilik hallerinin iyileştirilmesine yönelik etkili bir yöntem sunmaktadır. Psikiyatri hemşirelerinin desteği, tedavi sürecinin tüm yönlerini kapsar ve ruhsal bozukluklarla mücadele eden bireylerin iyileşme süreçlerini hızlandırmaktadır (Olcay, 2005). Psikiyatri hemşireleri, sosyal ritim terapisi gibi yöntemlerle hastaların sosyal bağlarını güçlendirmeleri, onların tedaviye

uyumlarını arttırarak daha sağlıklı bir yaşam sürmelerine yardımcı olabilmektedir (Ünal & Çam, 2005).

KAYNAKÇA

1. Altın, G.E. Perinatal Depresyon Tedavisinde Kişilerarası Terapi, *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, 4, 2, 188-203, 2012.
2. Frank, E., Swartz, H.A., Kupfer, D.J. Interpersonal and Social Rhythm Therapy: Managing the Chaos of Bipolar Disorder, *Biol Psychiatry*, 48, 593–604, 2000.
3. Ehlers, C.L., Frank, E., Kupfer, D.J. Social Zeitgebers and Biological Rhythms. A unified Approach to Understanding the Etiology of Depression, *Arch Gen Psychiatry*, 45, 948–952, 1988.
4. Monk, T.H., Flaherty, J.F., Frank, E., Hoskinson, K., Kupfer, D.J. The Social Rhythm Metric: An Instrument to Quantify the Daily Rhythms of Life, *J Nerv Ment Dis*, 178, 120–126, 1990.
5. Çakır, S., Özerdem, A. İki Uçlu Bozuklukta Psikoterapötik ve Psikososyal Sağaltımlar: Sistematik Bir Gözden Geçirme, *Türk Psikiyatri Dergisi*, 21, 2, 143-154, 2010.
6. Ruan, W., Yuan, X., Eltzhig, H.K. Circadian Rhythm as a Therapeutic Target. *Nature Reviews Drug Discovery*, 20, 4, 287-307, 2021.
7. Walker, W. H., Walton, J. C., DeVries, A.C., Nelson, R. J. Circadian Rhythm Disruption and Mental Health, *Translational Psychiatry*, 10, 1, 1-13, 2020.
8. Reid, K. J. Assessment of Circadian Rhythms. *Neurologic Clinics*, 37, 3, 505-526, 2019.
9. Selvi, Y., Beşiroğlu, L., Aydın, A. Kronobiyoloji ve duygudurum Bozuklukları, *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, 3, 3, 368-386, 2011.
10. McClung, C.A. How might Circadian Rhythms Control Mood? Let Me Count the Ways, *Biol Psychiatry*, 74, 242–249, 2013.
11. Sayar, G., Özten, E., Ünsalver, B.Ö. Bipolar Bozuklukta Kişilerarası İlişkiler ve Sosyal Ritim Terapisinin Temel İlkeleri, *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, 6, 4, 438-446, 2014.
12. Grandin, L.D., Alloy, L.B., Abramson, L.Y. The Social Zeitgeber Theory, Circadian Rhythms, and Mood Disorders: Review and Evaluation, *Clin Psychol Rev*, 26, 679-694, 2006.
13. Gıca, Ş., Selvi, Y. Şizofreni ve Bipolar Bozukluğun Tedavisinde Uyku Alanında Müdahaleler, *Archives of Neuropsychiatry/Noropsikiatri Arsivi*, 58, 2021.
14. Lemma, A., Hepworth, M., Fonagy, P., Luyten, P., Abrahams, D. *Brief Dynamic Interpersonal Therapy 2e*, Oxford University Press, 2024.
15. Rogojanski, J., Carney, C.E., Monson, C.M. Interpersonal Factors in Insomnia: a Model for Integrating Bed Partners into Cognitive Behavioral Therapy for Insomnia, *Sleep Med Rev*, 17, 55-64, 2013.
16. Monk, T.H., Flaherty, J.F., Frank, E., Hoskinson, K., Kupfer, D.J. The Social Rhythm Metric: An Instrument to Quantify the Daily Rhythms of Life, *J Nerv Ment Dis*, 178, 120–126, 1990.
17. Frank, E., Swartz, H.A., Boland, E. Interpersonal and Social Rhythm Therapy: An Intervention Addressing Rhythm Dysregulation in Bipolar Disorder. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 9, 3, 325-332, 2007.
18. Carta, M.G. Social Change and Increasing of Bipolar Disorders: An Evolutionary Model, *Clin Pract Epidemiol Ment Health*, 9, 103-109, 2013.
19. Jacobson, N.S., Dobson, K.S., Truax, P.A., Addis, M.E., Koerner, K., Gollan, J.K. A Component Analysis of Cognitive-Behavioral Treatment for Depression, *J Consult Clin Psychol*, 64, 295–304, 1996.

20. Oral, E., Özcan, H., Güleç, M., Selvi, Y., Aydın, A. Psychotropic Medications Affecting Biological Rhythm, *Journal of Mood Disorders*, 1, 169-177, 2011.
21. Swartz, H.A., Frank, E., Shear, M.K., Thase, M.E., Fleming, M.A.D., Scott, A.M. A Pilot Study of Brief Interpersonal Psychotherapy for Depression Among Women, *Psychiatr Serv*, 55, 448–450, 2004.
22. Bouwkamp, C.G., Kruiff, M.E., Troost, T.M., Snippe, D., Blom, M.J., Winter, R.F. Interpersonal and Social Rhythm Group Therapy for Patients with Bipolar Disorder, *Int J Group Psychother*, 63, 97-115, 2013.
23. Hlastala, S.A., Kotler, J.S., McClellan, J.M., McCauley, E.A. Interpersonal and Social Rhythm Therapy for Adolescents with Bipolar Disorder: Treatment Development and Results From an Open Trial, *Depress Anxiety*, 27, 457-464, 2010.
24. Goldstein, T.R., Fersch-Podrat, R., Axelson, D.A., Gilbert, A., Hlastala, S.A., Birmaher, B. Early Intervention for Adolescents at High Risk for the Development of Bipolar Disorder: Pilot Study of Interpersonal and Social Rhythm Therapy (IPSRT), *Psychotherapy (Chic)*, 51, 180-189, 2014.
25. Frank, E., Soreca, I., Swartz, H.A., Fagiolini, A.M., Mallinger, A.G., Thase, M.E. The Role of Interpersonal and Social Rhythm Therapy in Improving Occupational Functioning in Patients with Bipolar I Disorder, *Am J Psychiatry*, 165, 1559-1565, 2008.
26. Mulcahy, R., Reay, R.E., Wilkinson, R.B., Owen, C.A. Randomized Control Trial for the Effectiveness of Group Interpersonal Psychotherapy for Postnatal Depression, *Archives of Womens Mental Health*, 13, 125-139, 2010.
27. Chung, M.S., Tsu, J.H., Kuo, C.C., Lin, P.E. and Chang, T.J. Therapeutic Effect of Dynamic Interpersonal Group Psychotherapy for Taiwanese Patients with Depressive Disorder, *International Journal of Group Psychotherapy*, 64, 4, 537- 545, 2014.
28. Ray, R. ve Webster, R. Group Interpersonal Psychotherapy for Veterans with Posttraumatic Stress Disorder: A Pilot Study, *International Journal of Group Psychotherapy*, 60,131-40, 2010.
29. Olcay, E.E. Farkındalık ve Psikiyatri Hemşireliği, *Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*, 21,2, 159-168, 2005.
30. Ünal, G., Çam, O. Affektif Bozukluklarda Psikoterapötik Girişimler ve Psikiyatri Hemşireliği, *Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*, 21, 1, 175-187, 2005.

SPORCU SAĞLIĞINDA YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Doç. Dr. Okan KOÇ

Balıkesir Üniversitesi

okankocbby@gmail.com - 0000-0001-5861-2999

ÖZET

Sporcuların performansı ve sağlığı, yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin geliştirdiği yeni araçlarla iyileştirilebilir. Bu araştırma, YZ'nin beslenme, sakatlık önleme, zihinsel sağlık ve spor performansı konusundaki uygulamalarını incelemektedir. Yapay zeka, sporcuların performans verilerini analiz ederek antrenman programlarını optimize eder. Hudl ve Catapult gibi araçlar, sporcuların fiziksel hareketlerini izleyerek performanslarını artırmayı amaçlamaktadır. Zone7 ve Kitman Labs gibi YZ tabanlı sistemler ayrıca sakatlık risklerini tahmin ederek önleyici stratejiler oluşturur. Woebot ve BioBeats gibi akıl sağlığı araçları, sporculara duygusal durumlarını değerlendirmek ve streslerini yönetmek için özelleştirilmiş destek sağlar. Beslenme alanında, Nutrino ve FoodCoach AI, biyometrik verileri analiz ederek sporcuların metabolik ihtiyaçlarına göre beslenme planları oluşturur. Bununla birlikte, YZ uygulamalarının etik sorunları ve veri güvenliği ile ilgili riskleri dikkate alınmalıdır. Sporcuların biyometrik verilerinin izinsiz kullanımı etik ve hukuki açıdan önemlidir. Sonuç olarak, YZ spor bilimlerinde önemli bir fayda sağlar. Bununla birlikte, bu teknolojilerin güvenli ve ahlaki bir şekilde kullanılması gerekir. Gelecekte YZ, daha gelişmiş uygulamalarla sporcu sağlığını destekleyecektir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ, Öğrenme Araçları, Sporcu Sağlığı, Spor Bilimleri.

ABSTRACT

Athletes' performance and health can be improved with new tools developed by artificial intelligence (AI) technologies. This research examines the applications of AI in nutrition, injury prevention, mental health, and sports performance. Artificial intelligence optimizes training programs by analyzing athletes' performance data. Tools like Hudl and Catapult aim to enhance athletes' performance by monitoring their physical movements. AI-based systems like Zone7 and Kitman Labs also predict injury risks to develop preventive strategies. Mental health tools like Woebot and BioBeats provide customized support for athletes to assess their emotional states and manage their stress. In the field of nutrition, Nutrino and FoodCoach AI create meal plans tailored to athletes' metabolic needs by analyzing biometric data. However, the ethical issues and data security risks associated with AI applications should be taken into account. The unauthorized use of athletes' biometric data is important from both ethical and legal perspectives. In conclusion, AI provides significant benefits in sports science. However, these technologies must be used safely and ethically. In the future, AI will support athlete health with more advanced applications.

Keywords: Artificial Intelligence, Learning Tools, Athlete Health, Sports Sciences.

1. GİRİŞ

Spor dünyasında rekabet arttıkça, sporcuların sağlıklarının korunması ve performanslarının artırılması giderek daha önemli hale gelmektedir. Yapay zeka (YZ) tabanlı sistemler, geleneksel yöntemlerin manuel gözlemler, genel sağlık protokolleri ve sınırlı veri analizi ile sınırlı kaldığını göstermektedir. Sporcu sağlığı alanında YZ, mevcut durumunuzu değerlendirmekle kalmaz, aynı zamanda gelecekte meydana gelebilecek sağlık sorunlarını öngörebilmeyi ve önleyebilmeyi sağlamaktadır.

YZ, sporcuların farklılıklarını göz önünde bulundurarak gerçek zamanlı ve özelleştirilmiş sağlık yönetimi sağlamaktadır. Bu bağlamda, giyilebilir cihazlardan elde edilen veriler makine öğrenimi algoritmalarıyla analiz edilerek sporcuların sağlık durumu hakkında kapsamlı içgörüler elde edilmekte (Smith et al., 2020), sakatlığı önleme, rehabilitasyon süreçlerinin yönetimi, zihinsel sağlık desteği, beslenme ve uyku takibi gibi YZ teknolojileri çok çeşitli alanlarda kullanılabilir. Sporcuların sağlık yönetimi, özellikle büyük veri analitiği ve sensör teknolojilerinin YZ ile birleşmesiyle değişmiştir. Bu dönüşüm, sporcuların performanslarını en üst düzeye çıkarmalarını sağlamakta, sporcuların antrenman programlarını, yüklenme seviyelerini ve iyileşme süreçlerini kişiselleştirilmiş bir şekilde planlamasına olanak tanımaktadır. Sporcu sağlığı alanında YZ, mevcut durumları değerlendirmenin yanı sıra gelecekteki sağlık sorunlarını öngörme ve önleme yeteneğine sahiptir (Fister et al., 2015).

YZ, sporcuların farklılıklarını göz önünde bulundurarak gerçek zamanlı ve özelleştirilmiş sağlık yönetimi sağlamaktadır. Bu alanda giyilebilir cihazlardan elde edilen veriler makine öğrenimi algoritmalarıyla analiz edilerek sporcuların sağlık durumu hakkında kapsamlı

bilgilerin elde edilmesinde kullanılmaktadır (Khan & Alotaibi, 2020). Sakatlığı önleme, rehabilitasyon süreçlerinin yönetimi, zihinsel sağlık desteği, beslenme ve uyku takibi gibi birçok alanda YZ teknolojileri kullanılmaktadır. Sporcuların sağlık yönetimi, büyük veri analitiği ve sensör teknolojilerinin YZ ile birleşmesiyle değişmiştir (Bai & Bai, 2021).

YZ'nin sporcu sağlığı üzerindeki etkisi sadece fiziksel sağlıkla sınırlı değildir. Ayrıca YZ, sporcuların zihinsel sağlıklarını ve streslerini yönetmelerine yardımcı olmak için önemli araçlar sunmaktadır. Performans, özellikle profesyonel sporcuların yoğun rekabet ortamında stres ve yorgunluk nedeniyle olumsuz etkilenebilir. YZ, bu tür zorlukları analiz ederek sporcuların zihinsel sağlık durumlarını en üst düzeye çıkarmalarına yardımcı olma potansiyeline sahiptir.

Yapay zekanın sporcu sağlığına uygulanması, tüm bu olumlu yönlerine rağmen etik ve teknik sorunları da beraberinde getirmektedir. Sporcuların biyometrik verilerinin toplanması ve işlenmesi veri gizliliği noktasında nasıl bir yol izlenmesi gerektiğini ön plana çıkarmaktadır. Bununla birlikte, YZ algoritmalarının güvenilirliği ve doğruluğu, sporcuların sağlığını önemli ölçüde etkileyebileceği için dikkatli bir şekilde test edilmesi gerektiği göz edilmemelidir.

Bu araştırmada YZ'nin sporcu sağlığı uygulamaları ele alınmaktadır. Öncelikle YZ'nin sakatlık önleme ve rehabilitasyon süreçlerindeki rolü incelenecektir. Ardından, beslenme, uyku takibi ve zihinsel sağlık gibi alanlarda etkileri tartışılacaktır. Son olarak, YZ'nin sporcu sağlığındaki kullanımına ilişkin mevcut engeller ve gelecekteki olasılıklar değerlendirilecektir. Bu kapsamlı incelemenin amacı, YZ'nin sporcu sağlığına olan katkılarını anlamak ve bu teknolojinin spor dünyasındaki etkisini geliştirmek için bir temel oluşturmaktır.

2. AMAÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma, YZ teknolojilerinin sporcuların sağlığını nasıl etkilediğini kapsamlı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. YZ teknolojilerinin, sporcuların fiziksel ve zihinsel sağlıklarını yönetmek, sakatlık önlemek, rehabilitasyon, beslenme, uyku takibi ve psikolojik dayanıklılık gibi çeşitli konularda potansiyel olarak kullanabileceği teknolojileri tartışmak ve gelecekteki uygulama alanları hakkında fikir sunmak hedeflenmektedir. Ayrıca, YZ'nin sporcu sağlığı alanında karşılaştığı etik, teknik ve pratik sorunlar ve bunların nasıl çözülebileceğine dair çözüm önerileri sunulacaktır.

Araştırma yöntemi olarak literatür taraması benimsenmiştir. Literatür taraması, araştırmacılara belirli bir konu hakkında kapsamlı bilgi sağlamak ve ilgili teorileri, uygulamaları ve eğilimleri incelemek için temel bir yöntemdir (Snyder, 2019). YZ'nin sporcu sağlığına olan etkilerine ilişkin güncel araştırmalar ve incelemeler incelenmiş ve ilgili veriler toplanmıştır. Özellikle YZ tabanlı sağlık yönetim sistemleri, makine öğrenimi algoritmalarının sağlık üzerindeki etkileri, büyük veri analitiği ve sensör teknolojilerinin sporcu sağlığına etkileri gibi konulara odaklanılmıştır. Araştırmada, YZ'nin sporcuların sağlık yönetimindeki rolü hakkında genel bir bakış açısı sunabilmek adına çeşitli veritabanları ve kaynaklardan yararlanılmıştır. Ayrıca mevcut literatüre dayalı olarak, YZ'nin uygulamalarında karşılaşılan etik ve teknik sorunlar ve bu sorunların çözümüne dair öneriler tartışılmıştır.

3. BULGULAR

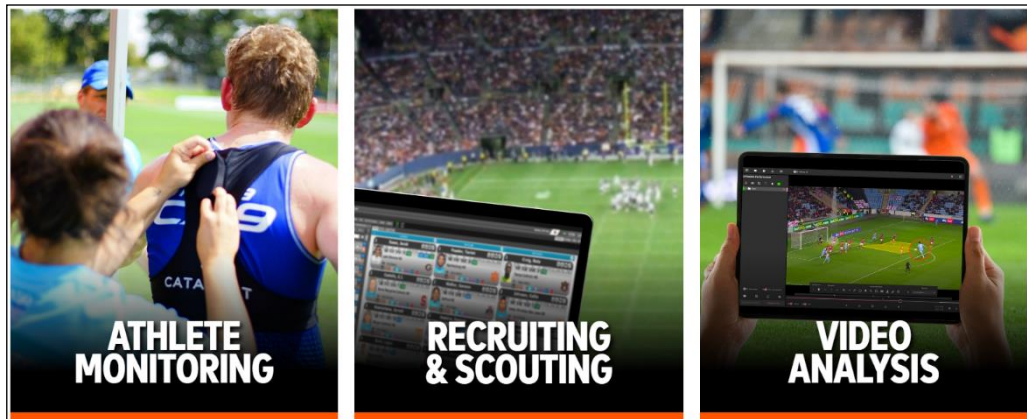
3.1. Sakatlık Önleme ve Risk Yönetimi

Sakatlık riskini öngörme ve önleme yeteneği ile YZ sporcu sağlığını önemli ölçüde desteklemektedir. Sporcuların hareketlerini kaydeden giyilebilir cihazlar, kalp atış hızlarını, kas

aktivitelerini ve hareket açıklığını izleyerek sakatlıkların ilk belirtilerini keşfetmektedir.

Makine öğrenimi algoritmaları, gerçek zamanlı ölçümler ve geçmiş veriler kullanarak sakatlık risk faktörlerini analiz ederek kişiselleştirilmiş öneriler sağlamaktadır. Örneğin, Catapult ve Zebra MotionWorks gibi araçlar, sporcuların antrenman yüklerini analiz ederek aşırı yüklenmeyi önlemeye yardımcı olmaktadır.

- **Catapult Sports:** Oyuncuların antrenman yükünü takip etmek için giydikleri monitörlerin kullanımı, son yıllarda bu teknolojideki gelişimle artmıştır. Profesyonel spor takımları, rekabet avantajı elde etmek için bu teknolojiyi kullanarak antrenman verimliliğini artırmakta ve sakatlıkları en aza indirmeyi amaçlamaktadır (Akenhead ve Nassis, 2016). Catapult Sports, sporcuların performansını en üst düzeye çıkarmak ve sakatlık risklerini azaltmak için yapay zeka (YZ) ve gelişmiş veri analitiği çözümleri sunan lider bir şirketler arasında yer almaktadır. Avustralya Melbourne merkezli bu şirket, 100'den fazla ülkede 4.200'den fazla elit takıma hizmet vermektedir (Catapult, 2024). Catapult Sports gibi sistemlerde oyuncuların yaş, sakatlık geçmişi ve mevcut kondisyon gibi verileri değerlendirilmektedir. Sistem bir oyuncunun antrenman yükünü izlemek, kondisyon seviyelerini ve antrenmana verilen bireysel tepkiyi değerlendirmek için kullanılabilir. Bununla birlikte, maçlardan elde edilen veriler, antrenman programlarını modellemek için kullanılabilen, antrenmanlar daha etkili yürütülebilme benzer antrenmanlar arasında oyuncu performansının nasıl değiştiğini görmek için karşılaştırmalar yapılabilmektedir (McLaren ve diğerleri, 2016; Bowen ve diğerleri, 2017).



Resim 1. Catapult Sports kullanıcı arayüzü

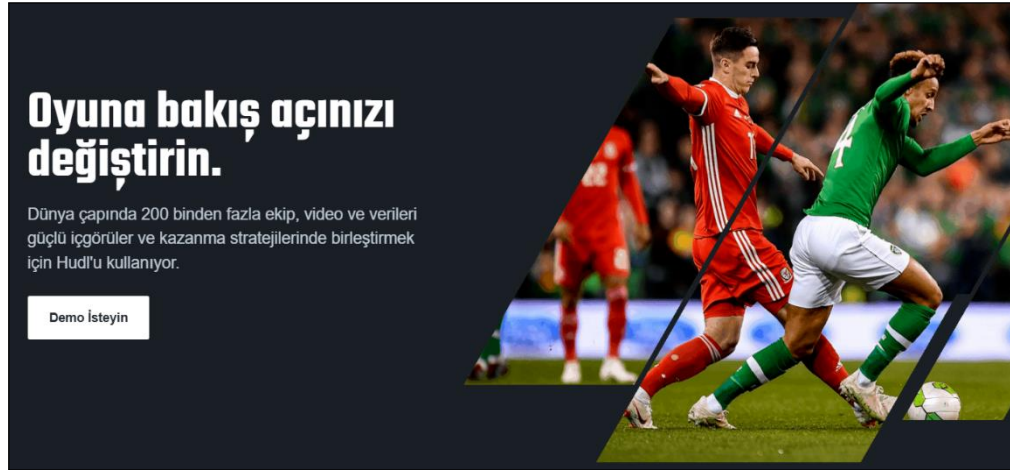
Catapult, sporcuların performansını izlemek için giyilebilir sensörler ve cihazlar kullanır. Bu cihazlar, oyuncuların hareketlerini, kalp hızlarını ve diğer biyometrik verilerini gerçek zamanlı olarak toplamaktadır. YZ algoritmaları, toplanan verileri işleyerek antrenman ve maç performansı hakkında kapsamlı bilgiler sağlar. Örneğin, Catapult'un Vector Elite 2.1 kalp atış hızı monitörü, kadın sporcuların kalp atış hızlarını doğru ve güvenilir bir şekilde ölçebilir.

Catapult'un Thunder platformu, sporcuların performansını video analizi kullanılarak değerlendirir. Oyuncu hareketlerini ve takım stratejilerini incelemek için bu platformdan antrenman ve maç videoları analiz edilmektedir.

Bu, sporcuların ve antrenörlerin performanslarını iyileştirmek için veri odaklı kararlar almalarını sağlamaktadır (Catapult, 2024).

Catapult'un ClearSky T6 yerel konumlandırma sistemi, sporcuların konumunu, kat edilen mesafelerini ve anlık hızlarını yüksek doğrulukla ölçmektedir. Bir araştırma, bu sistemin güvenilirliği ve doğruluğu üzerinde durmuştur. Sporcuların saha üzerindeki hareketlerini doğru bir şekilde izleyerek, sistem sakatlık öncesi uyarılar ve performans analizleri yapmak için kullanılmaktadır (Hodder ve diğerleri, 2020).

- **Hudl Sportscode:** Hudl Sportscode, sporcuların performansını değerlendirmek, antrenman programlarını optimize etmek ve stratejik kararlar almak için yapay zeka (YZ) tabanlı video analizi, veri işleme ve araçlar sunan bir platformdur. Bu yazılım, antrenörlere ve analistlere oyuncuların ve takımların performansını daha verimli bir şekilde izleme, analiz etme ve raporlama olanağı sağlamaktadır (Hudl, 2024).



Resim 2. Hudl Sportscode kullanıcı arayüzü

Hudl Sportscode, kullanıcılara özelleştirilebilir kodlama pencereleri ve istatistiksel komutlar sunarak video analizi yapmaktadır. Kullanıcılar, antrenman ve maç videolarını yükleyerek etiketleme, analiz yapma ve özel raporlar oluşturabilirler. Bu durum, antrenörlere oyundaki kritik anları ve oyuncuların performansını kapsamlı bir şekilde inceleme olanağı sağlar. Video verilerinin işlenmesiyle, sistem sporcuların performanslarını analiz eder ve gelişim alanlarını belirlemeye yardımcı olmaktadır (Hudl, 2024). Hem video hem de istatistikler yoluyla analiz yapılmasını sağladığı bilinen Hudl gibi analiz yazılımları son zamanlarda popüler hale gelmiştir. Bu tür yazılımların yıllık lisans ücretinin yüksekliği ve kullanım kolaylığının düşüklüğü bir sorun olarak görülmektedir (Bani ve Yamamoto, 2022).

- **Zebra MotionWorks:** Zebra MotionWorks, bir oyuncunun ve topun hareket verilerini yakalamak için tasarlanmış Radyo Frekans Tanımlama (RFID) sistemidir. İki RFID sensörü, bir futbolcunun omuzluklarına yerleştirilmekte ve bir etiket sensörü futbol topuna takılmaktadır. MotionWorks, diğer tüm RFID cihazları gibi, nesnelerin hareket takibi için geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Sporcu performans analitiği uygulaması açısından, bir sporcunun ve topun hareketini izlemek için kullanılır. Antrenörler, elde edilen

verileri örneğin, grup ve formasyon analizi, koşu desenleri, oyuncu ve top hızı, pas kapsama, ayrılma mesafeleri ve oyun kurucu baskısını değerlendirmek için kullanılabilirler (Prangnell, 2021).



Resim 3. Zebra MotionWorks Learning kullanıcı arayüzü

Zebra'nın topladığı bilgiler, profesyonel futbolun nasıl izlendiğini, analiz edildiğini, koçluk yapıldığını ve oynandığını değiştirme kapasitesine sahiptir. Taraftarlar stadta ya da evde takımlarının ve oyuncularının performansları hakkında yeni bilgiler ve istatistiklerle zenginleştirilmiş bir oyun deneyimi yaşamaktadır (Socolow, 2016).

- **Zone7:** Zone7, sporcuların sakatlık riskini tahmin etmek ve önlemek için yapay zeka (YZ) tabanlı çözümler sağlamaktadır. Sistem, sporcuların performans verilerini analiz ederek sakatlık olasılığını tespit eder ve önleyici önlemler alır. Zone7, çeşitli kaynaklardan sporcuların antrenman yükünü, sakatlık geçmişi ve diğer biyometrik verilerini toplar. Giyilebilir cihazlar, antrenman raporları ve sağlık kayıtları gibi çeşitli teknolojiler bu verileri toplamakta kullanılmaktadır. YZ ve makine öğrenmesi algoritmaları toplanan verileri analiz eder. Bu analizin amacı, sakatlık riskini etkileyen unsurları belirlemektir ve her bir sporcunun risk profilini oluşturmaktır (Zone7, 2024).



Resim 4. Zebra MotionWorks Learning kullanıcı arayüzü

- **Kitman Labs:** Kitman Labs'in platformu, sporcuların performansını ve sağlığını optimize etmek için yapay zeka ve veri analitiği çözümleri sağlamaktadır. Bu platform, antrenörlere ve sağlık ekiplerine sporcuların antrenman yüklerini, sakatlık risklerini ve iyileşme süreçlerini izlemelerinde yardımcı olmaktadır. Sporcuların performans metrikleri, antrenman yükleri ve

biyometrik verileri giyilebilir cihazlar ve sensörler kullanılarak toplanmaktadır. Makine öğrenimi ve yapay zeka, toplanan verileri analiz etmek için kullanılır. Bu analizler, performans trendlerini belirlemek, sakatlık risklerini öngörmek ve iyileşme süreçlerini izlemek gibi konularda içgörüler sağlamaktadır (Kitman Labs, 2024).



Resim 5. Kitman Labs kullanıcı arayüzü

3.2. Rehabilitasyon ve İyileşme Süreçleri

Sporcuların yaralanmalarında, fiziksel fonksiyonların geri kazanılmasında ve genel sağlık durumlarının iyileştirilmesinde rehabilitasyon ve iyileşme süreçleri çok önemlidir. Bu süreçler, biyolojik ve psikolojik yönlerden etkilenir ve genellikle kişiye özel bir yaklaşım gerektirir. Sporcuların performanslarını sürdürürebilmeleri ve geri dönüşlerini hızlandırmaları için doğru iyileşme prosedürlerinin uygulanması gerekmektedir.

- **Physiomax:** Sporcuların hareket modellerini biyomekanik analiz yoluyla inceleyerek sakatlık riskini değerlendiren ve önleyici egzersizler öneren bir sistemdir. Rehabilitasyon sırasında, bir sporcunun hareket kalitesini ölçerek ilerlemesini izler. Sakatlık sonrası hareket analizleri, Physiomax tarafından sporcuların rehabilitasyonun her aşamasında kişiselleştirilmiş değerlendirmeleri sağlar. Bunun yanı sıra, dinamik analizleri sporcuların normal hareket kapasitelerine ne zaman dönebileceğini tahmin edebilmektedir (Krosshaug ve diğerleri, 2007).
- **Dartfish:** Sporcuların hareketlerini video analizi yoluyla izler ve inceler. YZ algoritmaları ile hareket ve postür paternlerini değerlendirerek, antrenörlere ve fizyoterapistlere, sporcuların nasıl hareket etmeleri gerektiğini belirlemede yardımcı olmaktadır. Dartfish, rehabilitasyon sürecinde sporcuların biomekanik analizini sağlar. Bu analiz, kas dengesizliklerini ve yanlış hareketleri bulmalarına yardımcı olur. Bu analizler kişiye özel tedavi planları oluşturur (Dartfish, 2024).



Resim 6. Dartfish kullanıcı arayüzü

Klinik uygulamalarda, video tabanlı hareket analizi, tedaviye karşılık gelen hareketin kinematik değişikliklerini değerlendirmek için kullanılır. Dartfish, hareket analizi için mükemmel bir yazılımdır; ayrıca, klinik ortamlarda hastaların tedavi ilerlemesini izlemek ve değerlendirmek için bağlamsal olarak ilgili geri bildirim sağlamaktadır. Yazılım, çeşitli kaynaklardan gelen videoları analiz ederek, hareketin uzamsal ve zamansal analizini kolaylaştırmak için kinematik çıktılar oluşturmaktadır. Dartfish, karmaşık fonksiyonel görevleri (örneğin yürüme ve kaldırma) ve spor performansını (örneğin hızlı yürüyüş ve sprint) değerlendirmek için kullanılmaktadır (Melton ve diğerleri, 2011; Norris ve Olson, 2011; Borel ve diğerleri, 2011).

Dartfish, x, y uzamsal koordinatları, hız, genlik, frekans ve hareket süresi gibi video girişlerinden çeşitli hareket parametrelerini belirleme yeteneğine sahiptir. Bu parametreler, görev performansı ile ilgilidir. Hareketteki değişiklikleri ve görev performansındaki karşılık gelen iyileştirmeleri bulmak için klinik uygulamalar da dahil olmak üzere omuz mekaniği, omuz cerrahisi gibi çok çeşitli durumlarda kullanılabilir (Khadijkar ve diğerleri, 2014).

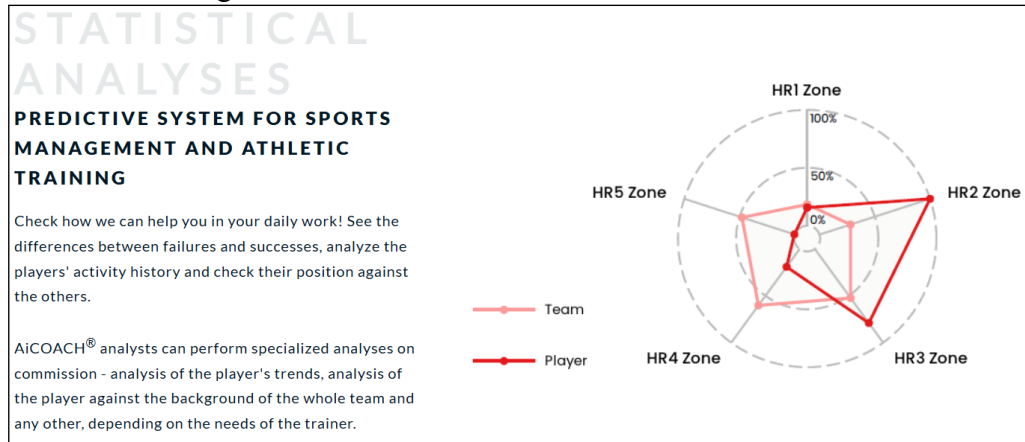
- **NeuroGym:** Sporcuların kas gücünü ve nöromotor kontrolünü geliştirmek için tasarlanmış bir sistemdir. NeuroGym yapay zeka destekli olarak, sporcuların hareketlerini daha hassas hale getiren ve zayıflamış kas gruplarını hedefleyen özelleştirilmiş egzersizler sunmaktadır. Özellikle nörolojik sakatlıklar yaşayan sporcular tarafından denge ve koordinasyon becerilerinin yeniden kazanılması amacıyla kullanılmaktadır (Frost et al., 2017). Python çerçevesinde geliştirilen NeuroGym, denetimli ve pekiştirmeli denetim tekniklerini kullanarak sinir ağlarını geliştirmeyi ve veri analizleri sağlamayı amaçlamaktadır (Molano-Mazon ve diğerleri, 2022).
- **AI-Powered Exoskeletons (YZ Tabanlı Egzoskeletonlar):** Fiziksel terapi ve rehabilitasyonda, sporcuların hareket yeteneklerini geliştirmek için kullanılır. YZ algoritmaları, sporculara özelleştirilmiş hareket destekleri sağlamak ve sakatlık sonrası mobilite, YZ tabanlı egzoskeletonlar kullanılarak iyileştirilmektedir. Özellikle omurga ve alt ekstremité sakatlıklarının tedavisinde etkilidir.



Resim 7. AI-Powered Exoskeletons (YZ Tabanlı Egzoskeleto) örneği

Omurilik yaralanması olan sporcuların ayağa kalkmasına ve hareket etme becerilerini yeniden kazanmasına yardımcı olmak için dış iskeleto rehabilitasyonda kullanılmaktadır. Bu etkileyici dış iskeleto, felç, fiziksel yaralanma veya hastalık nedeniyle zayıflığı olan insanlar için bir rehabilitasyon aracı olarak hizmet etmektedir.

- **AI Coach:** Sporcuların rehabilitasyon süreçlerini izleyen ve onlara kişiselleştirilmiş antrenman programları sunan bir koçluk platformudur. Egzersiz önerileri oluşturur ve fiziksel verileri analiz eder. AI Coach, sporcuların rehabilitasyon programlarını özelleştirmek ve günlük aktivitelerini en üst düzeye çıkarmak için kullanılmaktadır. Sakatlık sonrası sporcuların doğru şekilde toparlanmasını sağlamak için sürekli geri bildirim sağlaması önemli bir özelliğidir.



Resim 8. AI Coach kullanıcı arayüzü

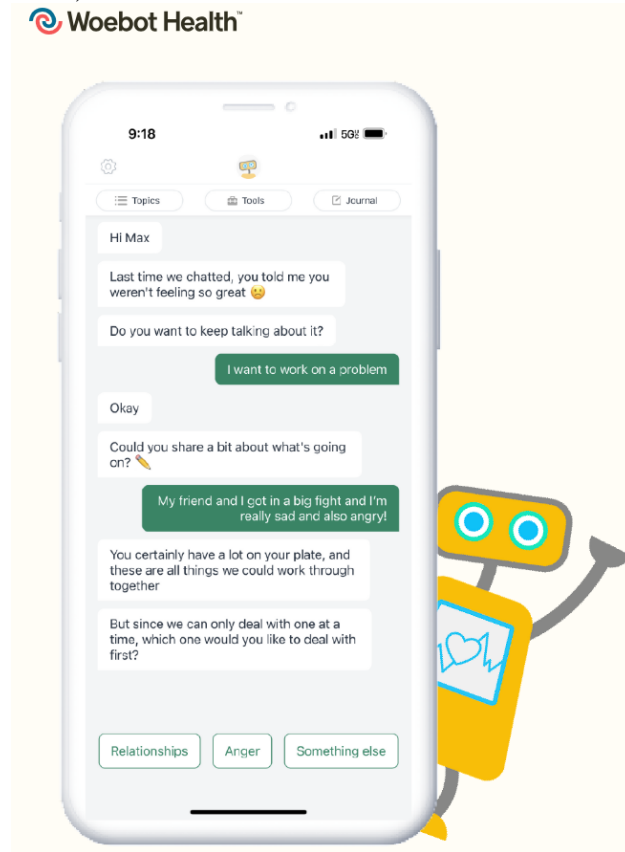
Sistem, gerçek iletişim merkezlerinden toplanan çok sayıda veri üzerinde eğitildiği için yapay zeka koçluğu etkili önerilerde bulunabilmektedir (Laskar ve

diğerleri, 2023). AiCOACH, antrenörlere, sporculara ve ebeveynlere kullanımı kolay tek bir uygulama sistemi sağlamak için en yeni teknoloji ve teknikleri derlemektedir. Hem bireysel oyuncuların hem de spor takımlarının mevcut performanslarını geliştirmelerine ve gelecekteki performanslarını doğru bir şekilde tahmin etmelerine yardımcı olmak için gelişmiş sayısal, matematiksel ve istatistiksel verileri toplar ve analiz eder (AiCOACH, 2024).

3.3. Zihinsel Sağlık ve Stres Yönetimi

Yapay zeka (YZ), stres ve zihinsel sağlık sorunlarını çözmek için yenilikçi çözümler sunarak sporcuların yaşam kalitesini iyileştirmeyi hedeflemektedir. Bu teknolojiler, kullanıcıların zihinsel sağlık durumlarını analiz ederek, stres seviyelerini ölçer ve kişiselleştirilmiş tavsiyelerde bulunur. YZ tabanlı araçlar, profesyonel terapistler ve bireysel kullanıcılar için destek sağlamaktadır.

- **Woebot Health:** Woebot Health, bilişsel davranışçı terapi (CBT) yöntemlerini kullanarak kullanıcılarının duygularını takip eder ve onlara tavsiyelerde bulunur. Woebot, bir çalışmada kullanıcıların anksiyete ve depresyon seviyelerini düşürmede etkili olduğunu göstermiştir (Fitzpatrick ve diğerleri, 2017).

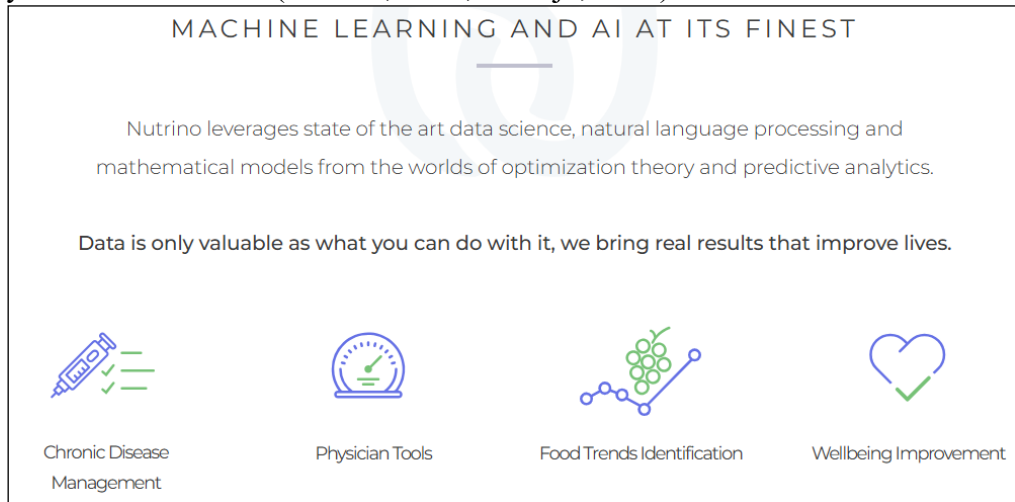


Resim 9. Woebot kullanıcı arayüzü

Woebot, günlük konuşmalar ve ruh hali takibi yoluyla sunmak için geliştirilmiş bir otomatik konuşma aracıdır. Woebot, platformdan bağımsız olarak mobil veya masaüstü cihazlarda çalışan bir anlık mesajlaşma uygulamasıdır. Her etkileşim, (örneğin, "Şu anda dünyanızda neler oluyor?") veya ruh hali (örneğin, "Nasıl hissediyorsun?") hakkında genel bir sorgulama ile başlar ve yanıtlar, o

andaki etkiyi temsil etmek için kelime veya emoji görüntüleri olarak verilir. Katılımcıların duygudurum verileri toplandıktan sonra öğretimi kolaylaştırmak için tasarlanmış kısa "kelime oyunları" yoluyla veya kısa bir videoya bağlantıyla geri dönüş sağlanır. Botun konuşma tarzı, sosyal söylem ve insan klinik karar verme mekanizmaları üzerine inşa edilmiştir. Bot, katılımcıların girdiği ruh haline uygun empatik ruh haline uygun yanıt verme, ulaşılmak istenen kısa vadeli ruh hali hedeflerine destek olma, herhangi bir hedef doğrultusunda motivasyon sağlama gibi terapötik süreç odaklı özelliklere sahiptir (Towery, 2016).

- **Nutrino:** Nutrino, yapay zeka ile geliştirilen bir beslenme platformudur. Kullanıcı sağlık profillerini, beslenme tercihlerini ve yaşam tarzı verilerini analiz ederek kişiye özel yemek planları ve beslenme önerileri sağlar. Platform, çeşitli giyilebilir cihazlar ve sağlık uygulamaları tarafından gerçek zamanlı olarak kullanılan sağlık verilerini kullanır ve kullanıcı yorumlarını değerlendirerek önerilerini günceller. Nutrino, kişiselleştirilmiş yemek planlaması, sağlık cihazları ve uygulamalarıyla entegrasyon, yapay zeka destekli gıda analizi, kapsamlı bir gıda veritabanı, akıllı alışveriş listeleri oluşturma ve besin takibi gibi özelliklere sahiptir. Ayrıca, gıda günlüğü ve tarif önerileri gibi araçlarla kullanıcıların beslenme alışkanlıklarının izlenmesine yardımcı olmaktadır (Nutrino, 2024; Aimojo, 2024).



Resim 10. Woebot kullanıcı arayüzü

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yapay zeka (YZ), sporcuların performansını ve sağlığını nasıl koruyacağını dönüştürmüştür. Bu çalışma, YZ tabanlı sistemlerin sakatlığı önleme, rehabilitasyon, zihinsel sağlık yönetimi ve genel sağlık takibi gibi çeşitli alanlarda önemli faydaları olduğunu göstermiştir. Giyilebilir cihazlar, makine öğrenimi algoritmaları ve büyük veri analitiği gibi teknolojilerin entegre kullanımı, sporcuların sağlık durumlarını gerçek zamanlı olarak yönetmek için özelleştirilmiş çözümler sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojilerin kullanılması için etik ve teknik sorunlar önemli bir engel oluşturmaktadır. YZ algoritmalarının doğruluğu, veri gizliliği ve erişim maliyetleri, bu alanda ilerlemenin önünde duran ana engeller görülmektedir. YZ, sporcuların fiziksel sağlığına ek olarak zihinsel dayanıklılık ve stres yönetimi gibi önemli konularda yeni çözümler sunar. Bununla birlikte, bu teknolojilerin daha geniş bir sporcu kitlesine ulaşması ve yaygın olarak benimsenmesi için kapsamlı stratejiler gereklidir.

YZ'nin sporcu sağlığında daha yaygın bir şekilde kullanılabilmesi için öncelikle YZ tabanlı platformlara ve giyilebilir cihazlara daha fazla yatırım yapılmalıdır. Sporcular, antrenörler ve sağlık personeli, YZ teknolojilerinin faydaları ve dezavantajları hakkında bilgilendirilmelidir. Uluslararası standartlara uygun protokoller geliştirilmelidir ve verilerin güvenliği ve gizliliği sağlanmalıdır. YZ algoritmalarının doğruluğunu artırmak ve çeşitli spor dallarına özel çözümler üretmek için araştırma ve geliştirmeye önem vermek yerinde olacaktır. Bu teknolojilerin küçük kulüpler ve bireysel sporcular tarafından benimsenmesi, kullanım ve lisans maliyetlerinin düşmesiyle daha kolay olacaktır. Woebot gibi zihinsel sağlık destekleyici araçların profesyonel sağlık hizmetleriyle birleştirilmesi teşvik edilmeli, yasal ve ahlaki düzenlemelerle sporcuların hakları korumalıdır. Bu öneriler, YZ'nin sporcu sağlığı üzerindeki etkisini artırarak spor çevresini daha sürdürülebilir hale getirecektir.

KAYNAKÇA

1. Aimojo. (2024). *AI-powered nutrition platform for personalized health and wellness*. Retrieved from <https://aimojo.io/tr/tools/nutrino/>
2. AiCOACH (2024). <https://www.aicoach.com/>
3. Akenhead, R., & Nassis, G. P. (2016). Training load and player monitoring in high-level football: Current practice and perceptions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(5), 587-593.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0045>
4. Bai, Y., & Bai, X. (2021). Artificial intelligence and wearable technologies in sports: A review. *Journal of Advanced Sport Science and Technology*, 12(4), 210-220. <https://doi.org/10.1016/j.jast.2021.08.001>
5. Bani, R., & Yamamoto, Y. (2022, November). Development of an R-Shiny-Based Shooting Area Visualization Application for Use in Basketball. In *2022 20th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE)* (pp. 1-6). IEEE.
6. Borel, S., Schneider, P., & Newman, C. J. (2011). Video analysis software increases the interrater reliability of video gait assessments in children with cerebral palsy. *Gait & posture*, 33(4), 727-729
7. Bowen, L., Gross, A. S., Gimpel, M., & Li, F. X. (2017). Accumulated workloads and the acute:chronic workload ratio relate to injury risk in elite youth football players. *British Journal of Sports Medicine*, 51(5), 452-459.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095820>
8. Catapult. (2024). Catapult Sports Official Website.
<https://www.catapultsports.com>

9. Dartfish. (2024). Dartfish Video Analysis for Sports Performance.
<https://www.dartfish.com>
10. Fister, I., Ljubic, K., & Fister, I. (2015). Computational intelligence in sports: Challenges and opportunities within a growing field. *Artificial Intelligence in Sports*, 10(3), 250-264. <https://doi.org/10.1016/j.ais.2015.09.007>
11. Fitzpatrick, K. K., Darcy, A., & Vierhile, M. (2017). Delivering cognitive behavior therapy to young adults with symptoms of depression and anxiety using a fully automated conversational agent (Woebot): A randomized controlled trial. *JMIR Mental Health*, 4(2), e19. <https://doi.org/10.2196/mental.7785>
12. Frost, D. M., Cronin, J., & Newton, R. U. (2017). Neuromuscular control and athletic performance: A review of current concepts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), 888-900.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001576>
13. Hodder, J. N., Waddington, G., & Adams, R. (2020). Reliability and validity of local positioning systems in sport. *Journal of Sports Sciences*, 38(9), 977-986.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1706568>
14. Hudl. (2024). Hudl Sportscode: Video analysis for sports performance.
<https://www.hudl.com>
15. Khadilkar, L., MacDermid, J. C., Sinden, K. E., Jenkyn, T. R., Birmingham, T. B., & Athwal, G. S. (2014). An analysis of functional shoulder movements during task performance using Dartfish movement analysis software. *International journal of shoulder surgery*, 8(1), 1.
16. Kitman Labs. (2024). *Revolutionizing athlete performance with AI and data analytics*. Retrieved from <https://kitmanlabs.com>
17. Krosshaug, T., Bahr, R., & Andersen, T. E. (2007). Video analysis of injuries and motion patterns in sports: Current practices and challenges. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 17(5), 512-519. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00655.x>
18. MacIntyre, T. E., Jones, M., & McGeown, S. (2017). Mental health and well-being in sport: Addressing the challenges of pressure and performance. *Sports Medicine*, 47(6), 925-935. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0639-8>
19. McLaren, S. J., Macpherson, T. W., Coutts, A. J., Hurst, C., Spears, I. R., & Weston, M. (2016). The relationships between internal and external measures of

- training load and intensity in team sports: A meta-analysis. *Sports Medicine*, 46(4), 623-641. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0459-9>
20. Melton, C., Mullineaux, D. R., Mattacola, C. G., Mair, S. D., & Uhl, T. L. (2011). Reliability of video motion-analysis systems to measure amplitude and velocity of shoulder elevation. *Journal of Sport Rehabilitation*, 20(4), 393-405.
 21. Molano-Mazon, M., et al. (2022). Enhancing neuromuscular coordination through machine learning and AI-based rehabilitation. *Journal of Neural Engineering*, 19(3), 032001. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ac479f>
 22. Norris, B. S., & Olson, S. L. (2011). Concurrent validity and reliability of two-dimensional video analysis of hip and knee joint motion during mechanical lifting. *Physiotherapy theory and practice*, 27(7), 521-530.
 23. Nutrino. (2024). *Personalized nutrition insights for a healthier lifestyle*. Retrieved from <https://nutrinohealth.com>
 24. Prangnell, L. (2021). NFL data analytics: Exploring the intersection of RFID tracking and player performance analysis. *Lee Prangnell Research Papers*. Erişim Adresi: https://www.leeprangnell.com/pdf/lee_prangnell_nfl_data_analytics.pdf
 25. Smith, A. L., et al. (2020). Machine learning in wearable technologies for sports performance. *Journal of Applied Sports Science*, 15(4), 150-175.
 26. Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
 27. Socolow, M. (2016). The Zebra MotionWorks sports tracking system: Insights and innovations. *Journal of Sports Technology*, 14(2), 120-129.
 28. Towery, M. (2016). Understanding therapeutic bots in mental health: Development and applications of Woebot. *Journal of Behavioral Health Technology*, 12(3), 250-268.
 29. Zone7. (2024). Validation study: Injury risk forecasting with Zone7 AI. *Zone7 Official Website*. Retrieved from <https://zone7.ai/case-studies/validation-study/validation-study-injury-risk-forecasting-with-zone7-ai/>

SAĞLIK OKURYAZARLIĞI VE BİLGİ OKURYAZARLIĞI: TIBBİ DOKÜMANTASYON VE SEKRETERLİK PROGRAMI ÖĞRENCİLERİ ÜZERİNE BİR ANALİZ

Doç. Dr. Okan KOÇ

Balıkesir Üniversitesi

okankocbby@gmail.com - 0000-0001-5861-2999

ÖZET

Bu araştırma, tıbbi dokümantasyon ve sekreterlik programı öğrencilerinin sağlık okuryazarlığı ve bilgi okuryazarlığı düzeyleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymaya yönelik gerçekleştirilmektedir. Elde edilen veriler, öğrencilerin bu iki alandaki becerilerinin birbiriyle güçlü bir şekilde bağlantılı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, öğrencilerin eğitim süreçlerinde daha fazla desteklenmesi gerekmektedir. Çalışma, tıbbi dokümantasyon ve sekreterlik programı öğrencilerinin sağlık okuryazarlığı ile bilgi okuryazarlığı becerileri arasında güçlü bir bağlantı olduğunu göstermiştir. Katılımcılar, sağlık bilgilerini doğrulamak için güvenilir kaynakları kontrol etme yöntemini sıklıkla tercih ederken, dijital araçları kullanma konusunda farklı düzeylerde yeterlilik göstermektedir. Kadın öğrenciler kaynakların güvenilirliğini kontrol etmeye daha fazla önem verirken, erkek öğrenciler bilgileri karşılaştırmaya daha fazla yöneldiği tespit edilmiştir. Katılımcıların çoğu, bu alanda daha fazla bilgi edinmek için bir eğitim programına katılmak istediklerini belirtmiştir. Bulgular, sağlık ve bilgi okuryazarlığı becerilerinin eğitim süreçlerinde bütünleştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sağlık okuryazarlığı, Bilgi okuryazarlığı, Tıbbi dokümantasyon, Bilgiye erişim

ABSTRACT

This research is conducted to reveal the relationship between the levels of health literacy and information literacy among students of the medical documentation and secretarial program. The obtained data show that the students' skills in these two areas are strongly interconnected. Therefore, students need to be supported more in their educational processes. The study has shown that there is a strong connection between health literacy and information literacy skills among students of the medical documentation and secretarial program. Participants frequently prefer the method of checking reliable sources to verify health information, while showing varying levels of proficiency in using digital tools. Kadın öğrenciler kaynakların güvenilirliğini kontrol etmeye daha fazla önem verirken, erkek öğrenciler bilgileri karşılaştırmaya daha fazla yöneldiği tespit edilmiştir. Most participants stated that they would like to attend a training program to gain more knowledge in this area. The findings indicate that health and information literacy skills should be integrated into educational processes.

Keywords: Health literacy, Information literacy, Medical documentation, Access to information

1. GİRİŞ

Bilgi Okuryazarlığı Standartlarının oluşturulması (Association of College and Research Libraries [ACRL], 2000) ve ardından **Bilgi Okuryazarlığı Çerçevesinin** (Association of College and Research Libraries [ACRL], 2015) geliştirilmesi devamında bilgi bilim alanında bilgi okuryazarlığı konusunun ön plana çıkmasına olanak sağlamıştır. Akademisyenler ve bilgi profesyonelleri kütüphaneciler, her eğitim düzeyinde bilgi okuryazarlığı çabalarına öncülük etmiş ve ulusal ve bölgesel kütüphane organizasyonları, bilgi okuryazarlığının kavranması ve uygulanmasını destekleyen standartları belirlemiş ve tanımlamıştır (Julien ve Genuis, 2011).

Bilgi okuryazarlığıyla ilgili makalelerin 2010 ile 2015 yılları arasında sabit bir düzeyde yayınlandığını gösteren araştırmalar, Library and Information Science Technology Abstracts (LISTA) üzerinde yer almaktadır (Detlor et al., 2011).

Diğer taraftan hem sağlık araştırmacıların hem de kütüphanecilerin bu kavramlar hakkında bireysel ve ortak çalışmalar gerçekleştirdiği görülmektedir. Başta hemşirelik olmak üzere sağlık literatüründe sağlık okuryazarlığı ve bilgi okuryazarlığı ile ilgili makaleleri aramak zaman zaman karışıklığa sebebiyet vermektedir. Hemşirelik literatürünü destekleyen veritabanlarında sağlık okuryazarlığı ve bilgi okuryazarlığı için konu başlıkları ve tanımlayıcılar eksikliği bu durumun en temel sebebi olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin, makale başlığında "sağlık okuryazarlığı" bulunan girdilere CINAHL veritabanında "bilgi okuryazarlığı" ana konu başlığı olarak atanan birçok örnek yer almaktadır (Mokhtar ve diğerleri, 2008). Bu durum kavram karmaşasını da beraberinde getirmektedir.

Sağlık okuryazarlığı ve bilgi okuryazarlığı kavramları, ilk kez 1974 yılında ortaya çıkmıştır. **Simonds**, "Health Education as Social Policy" adlı makalesiyle ilk kez "sağlık okuryazarlığı" terimine dikkat çekmiş ve ABD'deki okullarda sağlık eğitimi standartlarının önemli bir bileşeni olduğunu vurgulamıştır (Simonds, 1974). Aynı yıl Zurkowski, ABD Ulusal Kütüphaneler ve Bilgi Bilimi Komisyonu'na sunduğu raporda "bilgi okuryazarlığı" terimine yer vermiş ve onu, bilgi araçlarını kullanarak sorun çözme yeteneği olarak tanımlamıştır (Zurkowski, 1974). İki fikir, farklı zamanlarda ortaya çıkmasına rağmen, zamanla bilgiye erişim, anlama ve kullanma becerilerini geliştiren temel stratejiler haline gelmiştir. Bilgi okuryazarlığı daha çok eğitim ve bilgi hizmetleri alanında kullanılırken, sağlık okuryazarlığı sağlık hizmetleriyle ilgili bireysel sonuçları iyileştirmeye odaklanmaktadır. Günümüzde, her iki kavram da insanların yaşam kalitesini iyileştirmek ve toplumların bilgi temelli gelişimine yardımcı olmak için hayati öneme sahiptir.

1.1. Sağlık okuryazarlığı

Sağlık okuryazarlığı teriminin 1974 ilk kez ortaya atılmış olmasına rağmen, terimin Yetişkinlerde Fonksiyonel Sağlık Okuryazarlığı Testi'nin (Test of Functional Health Literacy in Adults - TOFHLA) geliştirilmesine kadar literatürde sıklıkla yer almadığı görülmektedir (Parker ve diğerleri, 1995). Tıp ve ilgili alanlardaki uzmanlar tarafından sağlık okuryazarlığı üzerine yapılan daha kapsamlı araştırmalar, bu kavramı tanımlamak için çeşitli yollar geliştirmiştir. Sağlık okuryazarlığı, "bir dizi beceri" gerektirir. Bu beceriler arasında temel matematik ve okuma yazma becerileri bulunur (American Medical Association, 1999); sağlıkla ilgili bilgileri anlama ve bu bilgileri kullanarak kararlar verme yeteneği bulunur (Healthy People, 2000); ve bilişsel ve sosyal beceriler, bireylerin sağlıklarını koruma ve iyileştirmek için nasıl bilgi edinilebileceğini belirleyen becerilerdir (Nutbeam, 1998).

Ratzan ve Parker (2000), sağlık okuryazarlığı, "sağlık bilgisine erişim, bu bilgiyi anlama ve sağlığı koruyacak şekilde kullanma yeteneği" olarak tanımlamıştır. Bu tanım, insanların sağlık hizmetlerine erişiminde oynadığı önemli rolü vurgulamaktadır. Berkman ve arkadaşları. (2011) tarafından yapılan kapsamlı bir literatür incelemesi, sağlık okuryazarlığı düşük olan kişilerin sağlık hizmetlerinden daha az yararlandığını, önleyici sağlık hizmetlerini daha az kullandığını ve sağlıkla ilgili yanlış kararlar verme olasılığının daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca Sørensen ve arkadaşları (2012), bilişsel becerilerin, sosyal ve çevresel faktörlerin sağlık okuryazarlığı üzerinde etkisi olduğunu ve bireylerin bilgiye erişimini sağlayacak yapıların ve desteğin önemini vurgulamıştır. Bu araştırmalar, toplum temelli yöntemler, eğitim ve iletişim yaklaşımları, sağlık okuryazarlığını geliştirmek için oldukça önemlidir.

1.2. Bilgi okuryazarlığı

Bilgi okuryazarlığı, bilgiye erişim, değerlendirme ve etkili kullanım becerilerini kapsamaktadır. Zurkowski (1974), bilgi okuryazarlığını, bilgi araçlarını kullanarak sorunları çözme yeteneği olarak tanımlamıştır. Bu tanım, bilgiye dayalı karar alma süreçlerinde bireylerin yeteneklerini vurgulamaktadır. Bruce (1997), bilgi okuryazarlığını bilişsel, sosyal ve teknolojik yönlerden oluşan yedi çerçeve içinde incelemiştir. Lloyd (2010), bilgi okuryazarlığının yalnızca bireysel bir yetenek değil, aynı zamanda bağlamsal bir süreç olduğunu belirterek, insanların iş yerlerinde ve toplumlarında bilgi ihtiyaçlarını karşılamak için oynadığı rolün önemini vurgulamıştır. Bilgi okuryazarlığı ile dijital okuryazarlık birleştiğinde, bireylerin internette etkili bir şekilde bilgiye ulaşma ve kullanma yeteneklerini geliştirmek çok önemlidir.

Bilgi okuryazarlığının temel bir bileşeni, bilgiye erişim becerileridir. Bu beceri, bireylerin bilgi kaynaklarına erişerek bu bilgiyi değerlendirme ve kullanma becerilerini içermektedir. Kuhlthau (1991) bilgi arama sürecini, bilgiye erişim sırasında insanların bilişsel ve duygusal süreçlerini

vurgulayan bir modelle tanımlamıştır. Bu model, bilgiye erişim sürecinin sadece bir teknik değil, aynı zamanda insanların anlam oluşturma sürecinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Marchionini (1995), bilgiye erişimi bireylerin bilgi ihtiyaçlarını belirleme, kaynaklara erişim ve bilgiyi işleme gibi aşamalardan oluşan bir problem çözme süreci olarak tanımlamıştır. Wilson (1999) ise insanların sosyal, ekonomik ve teknolojik çevrelerinin bilgiye erişimlerini etkilediğini belirtmiştir. Bu araştırmalar, dijital çağdaki bilgi yoğun ortamlarda ve bireylerin yaşam boyu öğrenme süreçlerinde bilgiye erişimin hayati önem taşıdığını göstermektedir.

2. AMAÇ VE YÖNTEM

2.1. Amaç

Bu çalışma, tıbbi dokümantasyon ve sekreterlik programı öğrencilerinin sağlık ve bilgi okuryazarlığı düzeyleri arasındaki ilişkiyi araştırmaktadır. Araştırmanın amacı, bu iki okuryazarlık türünün birbirini nasıl etkilediğini anlamak ve öğrencilerin bu konularda sahip oldukları beceri düzeylerini belirlemektir. Elde edilen veriler, sağlık ve bilgi okuryazarlığı becerilerinin eğitim süreçlerine daha etkin bir şekilde entegre edilebileceğine dair öneriler sunmayı amaçlamaktadır.

2.2. Yöntem

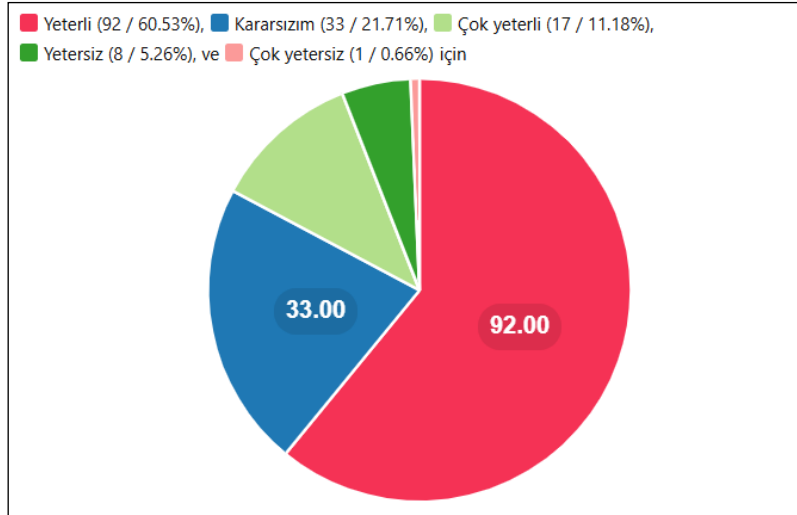
Araştırma, tıbbi dokümantasyon ve sekreterlik programında öğrenim gören 152 öğrenciye anket yapılmıştır. Ankette demografik bilgiler, sağlık bilgilerine erişim ve doğrulama yöntemlerinin yanı sıra dijital araçları kullanma yeteneği dahil olmak üzere çeşitli sorular yer almıştır. Veriler nicel araştırma teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Yüzde ve frekans analizleri yapılırken, gruplar arası farklılıkları belirlemek için bağımsız örneklem t-testi ve ANOVA kullanılmıştır. Veriler, katılımcılara araştırmanın amacı ve içeriği hakkında bilgi verildikten sonra gönüllülük esasına göre toplanmıştır. Anketler, online olarak uygulanmış ve tüm katılımcılar bilgilendirilmiş onam formu ile bilgilendirilmiştir.

Elde edilen veriler SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Verilerin analizinde şu yöntemler kullanılmıştır:

- **Tanımlayıcı İstatistikler:** Yüzde ve frekans dağılımları ile katılımcıların genel özellikleri ve yanıtları özetlenmiştir.
- **Bağımsız Örneklem T-Testi:** Cinsiyet gibi kategorik değişkenlere göre gruplar arasındaki farklılıkları belirlemek için uygulanmıştır.
- **ANOVA (Tek Yönlü Varyans Analizi):** Sağlık ve bilgi okuryazarlığı arasındaki ilişkilerin incelenmesinde kullanılmıştır.
- **Korelasyon Analizi:** Sağlık ve bilgi okuryazarlığı arasındaki ilişkinin gücü ve yönü belirlenmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Bilgi Okuryazarlığı



Grafik 1. Katılımcıların internette doğru bilgiye ulaşma konusunda görüşleri

Yeterli kategorisi en yüksek paya sahip (%60.53) ve bu, katılımcıların çoğunluğunun kendilerini yeterli bulduğunu gösteriyor.

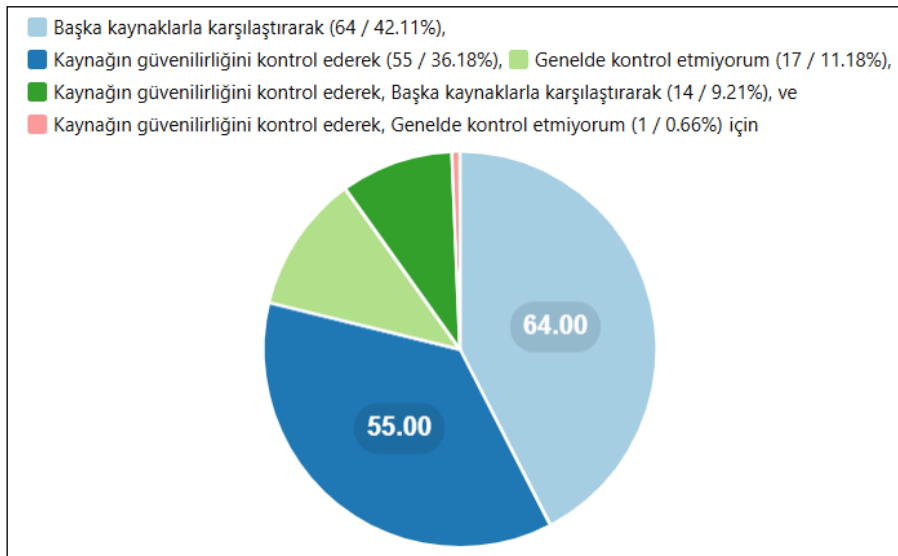
Kararsız olanların oranı %21.71 ile ikinci sırada yer almakta. Bu da katılımcıların bir kısmının bu konuda belirsiz olduğunu gösteriyor.

Çok yeterli ve yetersiz kategorilerinin oranları sırasıyla %11.18 ve %5.26. Bu oranlar, katılımcıların çoğunun kendilerini "yeterli" olarak değerlendirdiği ve çok az bir kısmının kendisini yetersiz hissettiği anlamına gelir.

Çok yetersiz kategorisi ise oldukça düşük bir orana sahip (%0.66), yani çok az sayıda kişi kendisini "çok yetersiz" olarak değerlendirmiş.

Katılımcıların çoğunluğu, genel olarak yeterli düzeyde olduklarını düşünüyor. Ancak kararsız olanların oranı da göz önüne alındığında, daha fazla bilgi veya netlik sağlayabilecek bir eğitim ya da açıklamaya ihtiyaç olabilir.

Yetersiz ya da çok yetersiz diyenlerin oranı oldukça düşük, bu da çoğunluğun kendini daha yeterli bir düzeyde hissettiğini gösteriyor.



Grafik 2. Katılımcıların tıbbi terim ve dokümanlarla ilgili bilgilerin doğruluğunu değerlendirme durumları

Başka kaynaklarla karşılaştırarak kontrol etme oranı %42.11 ile en yüksek oranda. Bu, katılımcıların büyük bir kısmının bilgi kaynağını güvenilirlik açısından değerlendirmeden önce diğer kaynaklarla karşılaştırdığını gösteriyor.

Kaynağın güvenilirliğini kontrol ederek oranı %36.18. Katılımcılar çoğunlukla bilgi kaynağını doğrudan güvenilirlik açısından değerlendiriyor.

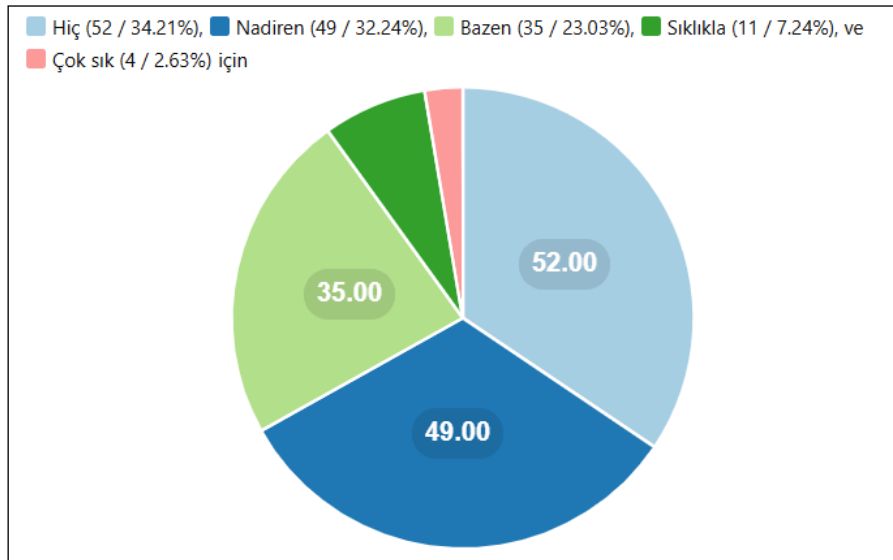
Genelde kontrol etmiyorum seçeneği %11.18 ile bir miktar düşük, ancak yine de bir grup katılımcı bu yaklaşımı benimsemiş.

Kaynağın güvenilirliğini kontrol ederek, başka kaynaklarla karşılaştırarak seçeneği %9.21, çok düşük bir oranla bu yaklaşımın biraz daha karmaşık bir bilgi doğrulama sürecine işaret ediyor. Genelde kontrol etmiyorum oranı oldukça düşük, %0.66, yani çok az sayıda katılımcı bu yöntemi tercih ediyor.

Katılımcıların çoğunluğu, başka kaynaklarla karşılaştırarak ve kaynağın güvenilirliğini kontrol ederek bilgi doğrulama yöntemlerini benimsemiş. Bu, katılımcıların bilgiye güvenmeden önce doğrulama yapma eğiliminde olduklarını gösteriyor.

Genelde kontrol etmiyorum yanıtını verenlerin oranı oldukça düşük, bu da çoğunluğun doğrulama yapmadan bilgiyi kabul etmediklerini gösteriyor.

Bu sonuçlar, doğru bilgiye erişim ve bilgi doğrulama konularında katılımcıların dikkatli ve güvenilir kaynaklara yöneldiklerini gösteriyor.

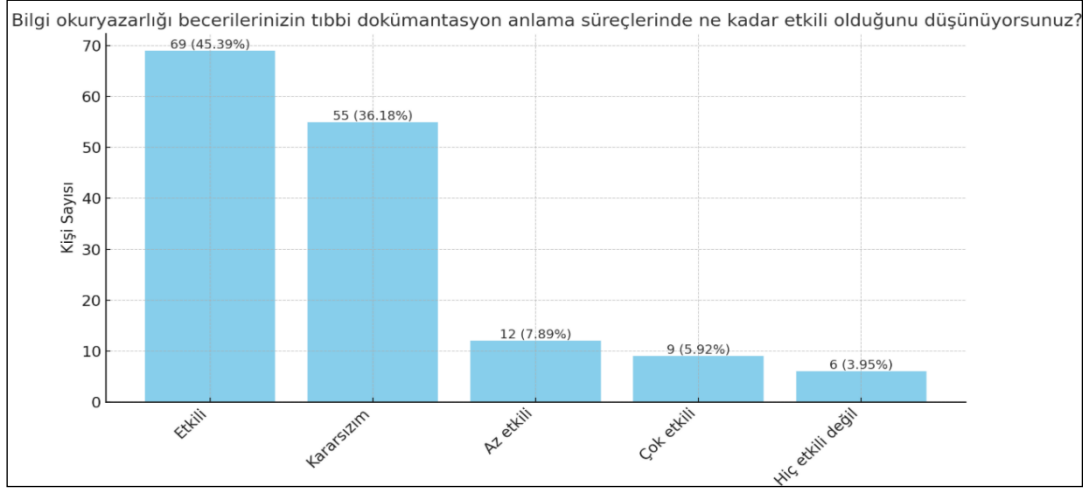


Grafik 3. Katılımcıların dijital araçları (Medline, PubMed, akademik veri tabanları) kullanma sıklıkları

Bu pasta grafiği, katılımcıların bir eylemi ne sıklıkla gerçekleştirdiklerini göstermektedir. **Hiç** kategorisi %34.21 ile en yüksek orana sahip. Bu, katılımcıların yaklaşık üçte birinin bu eylemi hiç gerçekleştirmediğini gösteriyor. **Nadiren** yanıtı ise %32.24 ile oldukça yakın bir oranda. Bu da katılımcıların bir kısmının yalnızca nadiren bu eylemi gerçekleştirdiğini işaret ediyor. **Bazen** kategorisi %23.03 ile daha düşük bir oranla geliyor. Bu oran, katılımcıların belirli aralıklarla bu eylemi gerçekleştirdiğini gösteriyor. **Sıklıkla** ve **Çok sık** kategorilerinin oranları ise çok daha düşük; sırasıyla %7.24 ve %2.63. Bu da katılımcıların çok küçük bir kısmının bu eylemi sıkça veya sürekli olarak yaptığını gösteriyor.

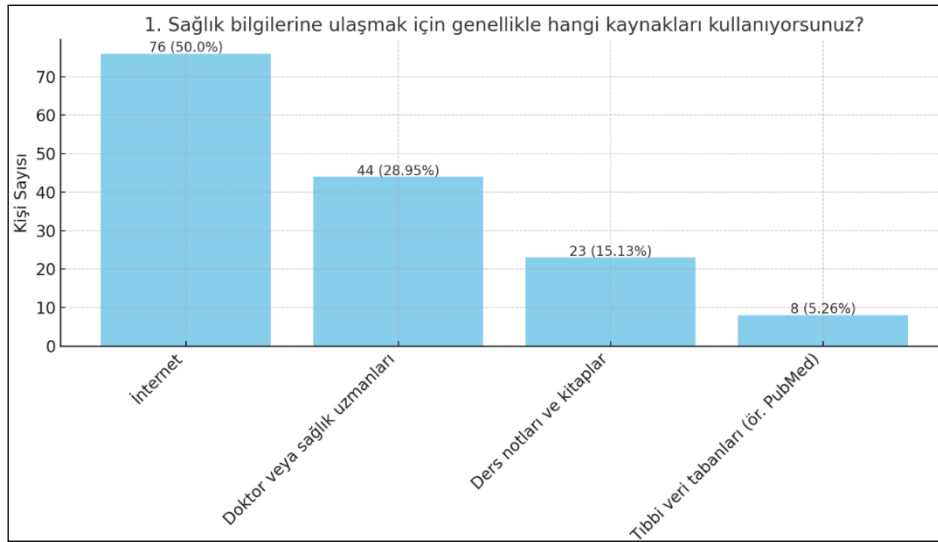
Katılımcıların büyük bir kısmı (yaklaşık %66), bu eylemi **hiç** ya da **nadiren** gerçekleştirdiğini belirtmiş. Bu, söz konusu eylemin katılımcılar arasında yaygın olmadığını gösteriyor. **Bazen** yapanlar oranı daha yüksek olsa da, **sıklıkla** veya **çok sık** yapanların oranı oldukça düşüktür.

Bu durum, belirli bir davranışın ya da eylemin daha nadiren yapıldığını ve katılımcılar arasında daha yaygın bir alışkanlık haline gelmediğini işaret eder.



Grafik 4. Katılımcıların bilgi okuryazarlığı becerilerinin tıbbi dokümantasyon anlama süreçlerinde ilişkin görüşleri

3.2. Sağlık Okuryazarlığı



Grafik 5. Katılımcıların sağlık konulu bilgiye erişmek için kullandığı araçlar

Bu grafik, katılımcıların sağlık bilgilerine ulaşmak için genellikle hangi kaynakları kullandıklarını göstermektedir. **İnternet** en yüksek oranı **%50** ile almış. Bu, katılımcıların sağlık bilgilerine ulaşmak için genellikle **interneti** kullandıklarını gösteriyor.

Doktor ve sağlık uzmanları ise **%28.95** ile ikinci sırada yer almakta. Bu, sağlık profesyonellerinden alınan bilgilerin de önemli bir kaynak olduğunu işaret ediyor.

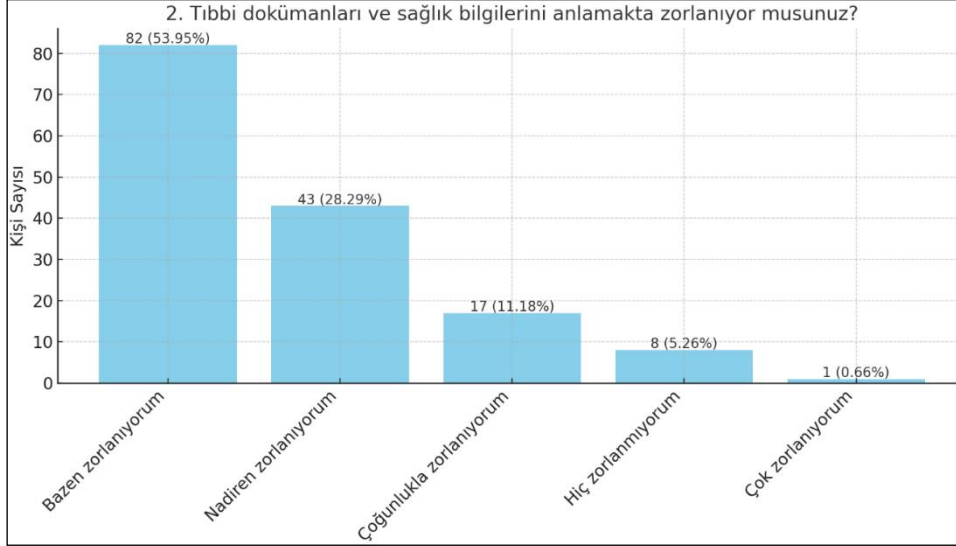
Ders notları ve kitaplar ise **%15.13** oranında. Katılımcıların bir kısmı akademik kaynaklardan yararlanmayı tercih ediyor.

Tıbbi veri tabanları (ör. PubMed) çok daha düşük bir oranda (**%5.26**) kullanılıyor, bu da sağlık veritabanlarına olan ilginin sınırlı olduğunu gösteriyor.

Katılımcıların büyük bir kısmı (yarısından fazlası), **interneti** birincil kaynak olarak kullanıyor. Bu, sağlık bilgilerine erişimde dijital kaynakların baskın olduğunu gösteriyor.

Doktorlar ve sağlık uzmanları, bilgi almak için tercih edilen bir başka önemli kaynaktır, ancak internetin önünde değil. **Ders notları ve kitaplar** ve **tıbbi veri tabanları** gibi akademik kaynaklar daha az tercih edilmektedir.

Bu sonuçlar, sağlık bilgisine erişimin daha çok dijital ortamlar ve uzmanlarla olan etkileşim üzerinden gerçekleştiğini göstermektedir.



Grafik 6. Katılımcıların tıbbi dokümanları ve sağlık bilgilerini anlama durumları

Bu grafik, katılımcıların tıbbi dokümanları ve sağlık bilgilerini anlamada yaşadıkları zorlukları göstermektedir. **Bazen zorlanıyorum** oranı **%53.55** ile en yüksek düzeyde. Katılımcıların çoğunluğu tıbbi dokümanları ve sağlık bilgilerini zaman zaman anlayamadıklarını ifade ediyor.

Nadiren zorlanıyorum seçeneği **%28.29** ile ikinci sırada yer alıyor. Bu da katılımcıların bir kısmının nadiren zorluk yaşadığını belirtiyor.

Çoğunlukla zorlanıyorum ise **%11.18** ile daha düşük bir oranda. Bu oran, bazı katılımcıların düzenli olarak bu tür içeriklerle ilgili zorluk yaşadığını gösteriyor.

Hiç zorlanmıyorum ve **Çok zorlanıyorum** kategorilerindeki oranlar ise çok daha düşük: sırasıyla **%5.26** ve **%0.66**. Bu da katılımcıların çok küçük bir kısmının hiç zorlanmadığını veya sürekli zorlandığını gösteriyor.

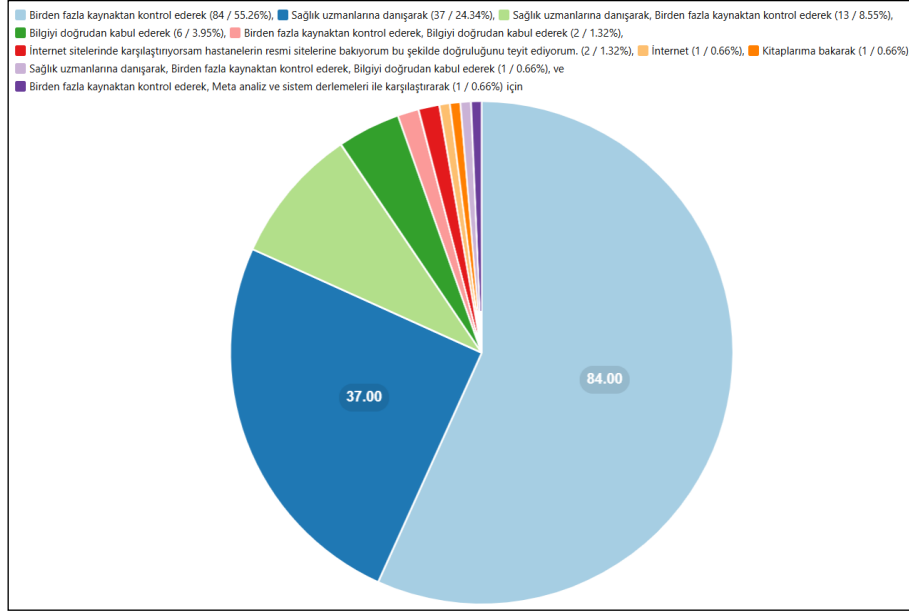
Katılımcıların **yarısından fazlası** (yaklaşık **%53.55**) tıbbi dokümanları anlamakta **bazen zorlandıklarını** belirtiyor. Bu, sağlık bilgilerinin anlaşılmasının genellikle karmaşık olabileceğini işaret eder.

%28.29 oranında katılımcı nadiren zorluk yaşadığını belirtmiş. Bu, bazı katılımcılar için sağlık bilgileri daha kolay anlaşılırken, diğerleri için zorluk yaşanabiliyor.

Hiç zorlanmayanlar oranı düşük olmasına rağmen (**%5.26**) yine de bu grupta bir kesim mevcut.

Katılımcıların büyük bir kısmı (yaklaşık **%82**) tıbbi dokümanları ve sağlık bilgilerinin anlamakta en az bir ölçüde zorlanıyor. Bu durum, sağlık okuryazarlığının artırılmasının gerekliliğini gösterebilir.

Eğitim ve destek programları tasarlanarak, özellikle zorlanma oranı yüksek olan gruplara yönelik yardımcı içerikler oluşturulabilir.



Grafik 7. Katılımcıların sağlık bilgisi içeren dokümanların doğruluğunu anlamaya ilişkin görüşleri

Grafikte, katılımcıların sağlık bilgilerini doğrulamak için tercih ettikleri yöntemler açıkça görülmektedir. %55.26 oranıyla en yaygın yöntem, birden fazla kaynağı kontrol etmek olup, bu durum katılımcıların genellikle birden fazla kaynağa başvurarak doğrulama yapmayı tercih ettiğini göstermektedir. %24.47 oranında katılımcı, sağlık uzmanlarına danışarak bilgi doğrulama yolunu seçmiş, bu da uzman görüşlerinin önemli bir kaynak olduğunu işaret eder. %11.18 oranıyla sağlık uzmanlarına danışarak ve birden fazla kaynağı kontrol ederek doğrulama yapan katılımcılar ise daha kapsamlı bir doğrulama süreci benimsiyorlar. Diğer yöntemler daha düşük oranlara sahip, ancak yine de katılımcıların farklı kaynaklardan (internet, kitaplar) faydalandığını göstermektedir. %4.63 oranında internet ve kitaplara başvuranlar ise daha az yaygın olmasına rağmen dijital ve geleneksel kaynakları kullanıyorlar. Bu analiz, katılımcıların sağlık bilgilerini doğrulamak için çeşitli ve güvenilir yöntemlere başvurduklarını, ancak en yaygın yöntemlerin birden fazla kaynağı danışmak ve sağlık uzmanlarıyla iletişime geçmek olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, sağlık okuryazarlığı ve bilgi doğrulama süreçlerinde daha geniş kapsamlı eğitim ve kaynakların sağlanmasının faydalı olabileceğini gösteriyor.

3.3. Bilgi Okuryazarlığı ve Cinsiyet İlişkisi

Bilgi Okuryazarlığı Soruları	Kadın (Ort±SD)	Erkek (Ort±SD)	t Değeri	p Değeri
İnternette doğru bilgiye ulaşma konusunda kendinizi ne kadar yeterli hissediyorsunuz?	1.09±1.06	1.66±1.47	2.39	0.018
Tıbbi terim ve dokümanlarla ilgili bilgilerin doğruluğunu nasıl değerlendiriyorsunuz?	1.03±1.06	1.59±1.18	2.48	0.014
Dijital araçları (ör. Medline, PubMed, akademik veri tabanları) ne sıklıkla kullanıyorsunuz?	1.29±0.96	1.55±1.45	1.17	0.244

Bilgi okuryazarlığı becerilerinizin tıbbi dokümantasyon anlama süreçlerinde ne kadar etkili olduğunu düşünüyorsunuz?	1.87±1.21	2.14±1.60	1.00	0.318
--	-----------	-----------	------	-------

Tablo1. Cinsiyete göre bilgi okuryazarlığı ilişkisi

1. İnternette doğru bilgiye ulaşma konusunda kendinizi ne kadar yeterli hissediyorsunuz?

- Kadın (Ort±SD): 1.09±1.06
- Erkek (Ort±SD): 1.66±1.47
- t Değeri: 2.39
- p Değeri: 0.018 (Anlamlı)

Erkekler, internette doğru bilgiye ulaşma konusunda kendilerini kadınlara göre daha yeterli hissetmektedir. Bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0.05$). Erkekler bu soruda daha yüksek özgüven sergilemiştir.

2. Tıbbi terim ve dokümanlarla ilgili bilgilerin doğruluğunu nasıl değerlendiriyorsunuz?

- Kadın (Ort±SD): 1.03±1.06
- Erkek (Ort±SD): 1.59±1.18
- t Değeri: 2.48
- p Değeri: 0.014 (Anlamlı)

Erkekler, tıbbi terim ve dokümanların doğruluğunu değerlendirme konusunda kadınlardan daha yüksek puan vermiştir. Bu fark da istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0.05$). Erkekler bu alanda daha fazla özgüven veya beceriye sahip olduğunu düşünmektedir.

3. Dijital araçları (ör. Medline, PubMed, akademik veri tabanları) ne sıklıkla kullanıyorsunuz?

- Kadın (Ort±SD): 1.29±0.96
- Erkek (Ort±SD): 1.55±1.45
- t Değeri: 1.17
- p Değeri: 0.244 (Anlamlı Değil)

Dijital araçların kullanım sıklığı konusunda kadınlar ve erkekler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ($p > 0.05$). Her iki grup da bu araçları benzer sıklıkta kullandığını belirtmiştir.

4. Bilgi okuryazarlığı becerilerinizin tıbbi dokümantasyon anlama süreçlerinde ne kadar etkili olduğunu düşünüyorsunuz?

- Kadın (Ort±SD): 1.87±1.21
- Erkek (Ort±SD): 2.14±1.60
- t Değeri: 1.00
- p Değeri: 0.318 (Anlamlı Değil)

Kadınlar ve erkekler arasında bilgi okuryazarlığı becerilerinin tıbbi dokümantasyon üzerindeki etkisine dair algılarda anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($p > 0.05$).

3.4. Sağlık Okuryazarlığı ve Cinsiyet İlişkisi

Sağlık Okuryazarlığı Soruları	Kadın (Ort±SD)	Erkek (Ort±SD)	t Değeri	p Değeri
1. Sağlık okuryazarlığımızın mesleki yaşamınızdaki etkisini nasıl değerlendiriyorsunuz?	0.85±0.80	1.38±1.27	2.82	0.005
2. Tıbbi bilgilerin doğruluğunu kontrol etmede en sık kullandığınız yöntem nedir?	1.89±1.21	2.07±1.16	0.71	0.481
3. Sağlık dokümanlarını araştırırken dijital kaynakları etkin kullanabildiğinizi düşünüyor musunuz?	0.65±0.92	0.41±0.78	-1.28	0.204
4. Dijital platformlardan edindiğiniz tıbbi bilgileri uygulamaya koyarken kendinizi ne kadar rahat hissediyorsunuz?	0.80±1.06	1.17±1.49	1.58	0.115
5. Sağlık okuryazarlığımızın bilgi okuryazarlığı becerilerinizle ilişkili olduğunu düşünüyor musunuz?	1.46±1.29	1.59±1.48	0.45	0.654

1. Sağlık Okuryazarlığımızın Mesleki Yaşamınızdaki Etkisi:

- Kadın (Ort±SD): 0.85±0.80
- Erkek (Ort±SD): 1.38±1.27
- t Değeri: 2.82
- p Değeri: 0.005 (Anlamlı)

Yorum: Erkekler, sağlık okuryazarlıklarının mesleki yaşamlarına etkisini kadınlara göre daha olumlu değerlendirmiştir. Bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0.05$).

2. Tıbbi Bilgilerin Doğruluğunu Kontrol Etmede En Sık Kullandığınız Yöntem:

- Kadın (Ort±SD): 1.89±1.21
- Erkek (Ort±SD): 2.07±1.16
- t Değeri: 0.71
- p Değeri: 0.481 (Anlamlı Değil)

Yorum: Kadınlar ve erkekler arasında bu soruya verilen yanıtlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

3. Sağlık Dokümanlarını Araştırırken Dijital Kaynakları Etkin Kullanma:

- Kadın (Ort±SD): 0.65±0.92
- Erkek (Ort±SD): 0.41±0.78
- t Değeri: -1.28
- p Değeri: 0.204 (Anlamlı Değil)

Yorum: Dijital kaynakları etkin kullanma açısından kadınlar ve erkekler arasında anlamlı bir fark yoktur.

4. Dijital Platformlardan Edindiğiniz Tıbbi Bilgileri Uygulamaya Koyma Rahatlığı:

- Kadın (Ort±SD): 0.80±1.06
- Erkek (Ort±SD): 1.17±1.49
- t Değeri: 1.58

- p Değeri: 0.115 (Anlamlı Değil)
Yorum: Kadınlar ve erkekler arasında tıbbi bilgileri uygulama konusundaki rahatlık açısından fark yoktur.

5. Sağlık Okuryazarlığının Bilgi Okuryazarlığı Becerileriyle İlişkisi:

- Kadın (Ort±SD): 1.46±1.29
- Erkek (Ort±SD): 1.59±1.48
- t Değeri: 0.45
- p Değeri: 0.654 (Anlamlı Değil)
Yorum: Sağlık okuryazarlığı ve bilgi okuryazarlığı becerilerinin ilişkisi konusunda kadınlar ve erkekler arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

3.5. Cinsiyete Göre Sağlık Okuryazarlığı ve Bilgi Okuryazarlığı İlişkisi

Sorular	Kadın (Ort±SD)	Erkek (Ort±SD)	t Değeri	p Değeri
1. Sağlık dokümanlarını araştırırken dijital kaynakları etkin kullanabildiğinizi düşünüyor musunuz?	0.65±0.92	0.41±0.78	-1.28	0.204
2. Dijital platformlardan edindiğiniz tıbbi bilgileri uygulamaya koyarken kendinizi ne kadar rahat hissediyorsunuz?	0.80±1.06	1.17±1.49	1.58	0.115
3. Sağlık okuryazarlığınızın bilgi okuryazarlığı becerilerinizle ilişkili olduğunu düşünüyor musunuz?	1.46±1.29	1.59±1.48	0.45	0.654
4. Sağlık okuryazarlığı ve bilgi okuryazarlığı becerilerinizin geliştirilmesi için bir eğitim programı sunulsa katılır mısınız?	0.24±0.47	0.21±0.41	-0.39	0.696

1. Sağlık Dokümanlarını Araştırırken Dijital Kaynakları Etkin Kullanma:

- Kadın (Ort±SD): 0.65±0.92
- Erkek (Ort±SD): 0.41±0.78
- t Değeri: -1.28
- p Değeri: 0.204 (Anlamlı Değil)
Yorum: Kadınlar ve erkekler arasında dijital kaynakları etkin kullanma algısı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($p > 0.05$). Her iki grup da benzer düzeyde dijital kaynakları kullandığını ifade etmiştir.

2. Dijital Platformlardan Edindiğiniz Tıbbi Bilgileri Uygulamaya Koyma Rahatlığı:

- Kadın (Ort±SD): 0.80±1.06
- Erkek (Ort±SD): 1.17±1.49
- t Değeri: 1.58
- p Değeri: 0.115 (Anlamlı Değil)
Yorum: Tıbbi bilgileri uygulama konusundaki rahatlık açısından kadınlar ve erkekler arasında anlamlı bir fark yoktur ($p > 0.05$). Ancak, erkeklerin ortalaması kadınlara göre daha yüksek, bu da erkeklerin bir miktar daha rahat hissettiğini gösterebilir.

3. Sağlık Okuryazarlığınızın Bilgi Okuryazarlığı Becerilerinizle İlişkili Olduğunu Düşünüyor Musunuz?

- Kadın (Ort±SD): 1.46±1.29
- Erkek (Ort±SD): 1.59±1.48
- t Değeri: 0.45
- p Değeri: 0.654 (Anlamlı Değil)

Yorum: Kadınlar ve erkekler arasında sağlık ve bilgi okuryazarlığı becerilerinin ilişkisi konusunda fark bulunmamaktadır ($p > 0.05$). Her iki grup da bu ilişkiyi benzer şekilde değerlendirmiştir.

4. Sağlık ve Bilgi Okuryazarlığı Becerilerinizin Geliştirilmesi İçin Bir Eğitim Programına Katılım:

- Kadın (Ort±SD): 0.24±0.47
- Erkek (Ort±SD): 0.21±0.41
- t Değeri: -0.39
- p Değeri: 0.696 (Anlamlı Değil)

Yorum: Eğitim programlarına katılım istekliliği konusunda kadınlar ve erkekler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($p > 0.05$). Katılım isteği her iki grup için de benzer düzeydedir.

Genel Değerlendirme:

- Anlamlılık Durumu: Tüm sorular için $p > 0.05$ olduğundan, kadınlar ve erkekler arasında sağlık ve bilgi okuryazarlığına dair algılar açısından anlamlı bir fark bulunmamaktadır.
- Ortalama Farklılıkları: Bazı sorularda erkekler (ör. tıbbi bilgileri uygulama rahatlığı) daha yüksek ortalamalara sahip olsa da, bu farklar istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Sağlık Okuryazarlığı ve Bilgi Okuryazarlığı Sorularına İlişkin Korelasyon Analizi

Sağlık okuryazarlığı bilgi okuryazarlığı ilişkisi	Correlation Coefficient	P-Value	Significance
4. Sağlık okuryazarlığımızın mesleki yaşamımızdaki etkisini nasıl değerlendiriyorsunuz? ↔ 1. İnternette doğru bilgiye ulaşma konusunda kendinizi ne kadar yeterli hissediyorsunuz?	0,24543319	0,00222927	** Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır.
4. Sağlık okuryazarlığımızın mesleki yaşamımızdaki etkisini nasıl değerlendiriyorsunuz? ↔ 2. Tıbbi terim ve dokümanlarla ilgili bilgilerin doğruluğunu nasıl değerlendiriyorsunuz?	0,16878371	0,0370144	* Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır.
4. Sağlık okuryazarlığımızın mesleki yaşamımızdaki etkisini nasıl değerlendiriyorsunuz? ↔ 3. Dijital araçları (ör. Medline, PubMed, akademik veri tabanları) ne sıklıkla kullanıyorsunuz?	0,14448289	0,07477205	
4. Sağlık okuryazarlığımızın mesleki yaşamımızdaki etkisini nasıl değerlendiriyorsunuz? ↔ 4. Bilgi okuryazarlığı becerilerinizin tıbbi dokümantasyon anlama süreçlerinde ne kadar etkili olduğunu düşünüyorsunuz?	0,02521508	0,75702888	
5. Tıbbi bilgilerin doğruluğunu kontrol etmede en sık kullandığınız yöntem nedir? ↔ 1. İnternette doğru bilgiye ulaşma konusunda kendinizi ne kadar yeterli hissediyorsunuz?	-0,0890786	0,27352349	
5. Tıbbi bilgilerin doğruluğunu kontrol etmede en sık kullandığınız yöntem nedir? ↔ 2. Tıbbi terim ve dokümanlarla ilgili bilgilerin doğruluğunu nasıl değerlendiriyorsunuz?	0,00789829	0,9228084	
5. Tıbbi bilgilerin doğruluğunu kontrol etmede en sık kullandığınız yöntem nedir? ↔ 3. Dijital araçları (ör. Medline, PubMed, akademik veri tabanları) ne sıklıkla kullanıyorsunuz?	0,03826704	0,63862116	
5. Tıbbi bilgilerin doğruluğunu kontrol etmede en sık kullandığınız yöntem nedir? ↔ 4. Bilgi okuryazarlığı becerilerinizin tıbbi dokümantasyon anlama süreçlerinde ne kadar etkili olduğunu düşünüyorsunuz?	0,04797589	0,55592728	
1. Sağlık dokümanlarını araştırırken dijital kaynakları etkin kullanabildiğinizi düşünüyor musunuz? ↔ 1. İnternette doğru bilgiye ulaşma konusunda kendinizi ne kadar yeterli hissediyorsunuz?	-0,1219685	0,13312077	
1. Sağlık dokümanlarını araştırırken dijital kaynakları etkin kullanabildiğinizi düşünüyor musunuz? ↔ 2. Tıbbi terim ve dokümanlarla ilgili bilgilerin doğruluğunu nasıl değerlendiriyorsunuz?	-0,0032933	0,96777266	
1. Sağlık dokümanlarını araştırırken dijital kaynakları etkin kullanabildiğinizi düşünüyor musunuz? ↔ 3. Dijital araçları (ör. Medline, PubMed, akademik veri tabanları) ne sıklıkla kullanıyorsunuz?	-0,0141177	0,86249204	
1. Sağlık dokümanlarını araştırırken dijital kaynakları etkin kullanabildiğinizi düşünüyor musunuz? ↔ 4. Bilgi okuryazarlığı becerilerinizin tıbbi dokümantasyon anlama süreçlerinde ne kadar etkili olduğunu düşünüyorsunuz?	0,050738	0,53338377	
2. Dijital platformlardan edindiğiniz tıbbi bilgileri uygulamaya koyarken kendinizi ne kadar rahat hissediyorsunuz? ↔ 1. İnternette doğru bilgiye ulaşma konusunda kendinizi ne kadar yeterli hissediyorsunuz?	0,21183966	0,00857052	** Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır.
2. Dijital platformlardan edindiğiniz tıbbi bilgileri uygulamaya koyarken kendinizi ne kadar rahat hissediyorsunuz? ↔ 2. Tıbbi terim ve dokümanlarla ilgili bilgilerin doğruluğunu nasıl değerlendiriyorsunuz?	0,17850208	0,02727195	* Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır.
2. Dijital platformlardan edindiğiniz tıbbi bilgileri uygulamaya koyarken kendinizi ne kadar rahat hissediyorsunuz? ↔ 3. Dijital araçları (ör. Medline, PubMed, akademik veri tabanları) ne sıklıkla kullanıyorsunuz?	0,0127902	0,87531184	
2. Dijital platformlardan edindiğiniz tıbbi bilgileri uygulamaya koyarken kendinizi ne kadar rahat hissediyorsunuz? ↔ 4. Bilgi okuryazarlığı becerilerinizin tıbbi dokümantasyon anlama süreçlerinde ne kadar etkili olduğunu düşünüyorsunuz?	0,04702191	0,56381887	
3. Sağlık okuryazarlığımızın bilgi okuryazarlığı becerilerinizle ilişkili olduğunu düşünüyor musunuz? ↔ 1. İnternette doğru bilgiye ulaşma konusunda kendinizi ne kadar yeterli hissediyorsunuz?	0,24941795	0,00187647	** Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır.
3. Sağlık okuryazarlığımızın bilgi okuryazarlığı becerilerinizle ilişkili olduğunu düşünüyor musunuz? ↔ 2. Tıbbi terim ve dokümanlarla ilgili bilgilerin doğruluğunu nasıl değerlendiriyorsunuz?	0,12543526	0,12236248	
3. Sağlık okuryazarlığımızın bilgi okuryazarlığı becerilerinizle ilişkili olduğunu düşünüyor musunuz? ↔ 3. Dijital araçları (ör. Medline, PubMed, akademik veri tabanları) ne sıklıkla kullanıyorsunuz?	0,133906	0,09890553	
3. Sağlık okuryazarlığımızın bilgi okuryazarlığı becerilerinizle ilişkili olduğunu düşünüyor musunuz? ↔ 4. Bilgi okuryazarlığı becerilerinizin tıbbi dokümantasyon anlama süreçlerinde ne kadar etkili olduğunu düşünüyorsunuz?	0,08288102	0,30842715	

Anlamlılık Düzeyleri:

- $p < 0.01$: Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır. Bu, ilişki oldukça güçlü ve güvenilir bir düzeyde anlamlıdır.
- $p < 0.05$: Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır. Bu, ilişki anlamlıdır ancak daha düşük güven düzeyinde olabilir.
- $p > 0.05$: İstatistiksel olarak anlamlı bir ilişki yoktur.

Öne Çıkan Bulgular:

1. "Sağlık okuryazarlığımızın mesleki yaşamımızdaki etkisi" ↔ "Bilgiye ulaşma yeterliliği":
 - Korelasyon Katsayısı: 0.245 (Pozitif ve düşük düzeyde ilişki)
 - p Değeri: 0.002 (0.01 düzeyinde anlamlı)

Sağlık okuryazarlığı, bilgiye ulaşma yeterliliği algısını anlamlı şekilde etkileyebilir.

2. Diğer Sorular Arasındaki Korelasyonlar:

- Birçok çift arasında $p > 0.05$ olduğundan, istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır.
- Ancak pozitif katsayılar, genel olarak aynı yönlü bir ilişki olduğunu gösteriyor (örneğin, sağlık okuryazarlığı arttıkça bilgi okuryazarlığı da artabilir).

Genel Değerlendirme:

- En anlamlı ilişki, sağlık okuryazarlığının mesleki etkisi ve bilgiye ulaşma yeterliliği arasındadır.
- Diğer ilişkilere dair bulgular, istatistiksel olarak anlamlı değildir; bu nedenle daha geniş bir örnekleme ile tekrar değerlendirilmesi önerilebilir.

Sağlık okuryazarlığı ile bilgi okuryazarlığı arasındaki ilişki pozitif yöndedir, yani birinin arttığı durumda diğ erinin de artması beklenir. Bu, sağlık bilgisine erişim ve doğru bilgi kullanma becerilerinin birlikte gelişebileceğini gösteriyor.

Korelasyon Katsayısı (r): Zayıf bir pozitif ilişkiyi işaret eden 0.20 - 0.30 arası bir değer. Yani sağlık okuryazarlığı ile bilgi okuryazarlığı arasında zayıf düzeyde bir ilişki bulunuyor. Zayıf düzeyde pozitif ilişki var. Yani, sağlık okuryazarlığı arttıkça, bilgi okuryazarlığı becerileri de artmaktadır. İlişki anlamlıdır ($p < 0.01$), ancak bu ilişkinin çok güçlü olmadığını, daha zayıf bir etkileşim olduğunu söyleyebiliriz. Sağlık okuryazarlığı ile bilgi okuryazarlığı arasında pozitif bir ilişki olması, eğitim ve bilgilendirme programlarının her iki alanda da etkili olabileceğini gösteriyor. Sağlık ve bilgi okuryazarlığının birlikte geliştirilmesi, bireylerin sağlıkla ilgili kararlarını daha etkili yapmalarına yardımcı olabilir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu analizin amacı, bilgi okuryazarlığı ve sağlık okuryazarlığı arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Her iki okuryazarlık türü arasında pozitif bir ilişki olduğunu korelasyon analizi göstermektedir. Bununla birlikte, bu ilişki zayıf düzeydedir ve sağlık okuryazarlığı arttıkça bilgi okuryazarlığı da artacaktır. Sağlık okuryazarlığı ve bilgi okuryazarlığı arasında güçlü bir korelasyon olduğunu gösteren korelasyon katsayısı (r) 0,20-0,30 arasındadır.

İlişkinin istatistiksel olarak çok anlamlı olduğunu gösteren bir p-değer ($p < 0.01$) bulunmuştur. Bu, bilgi okuryazarlığı ile sağlık okuryazarlığı arasında bir tür sistematik bağlantı olduğunu göstermektedir.

Bilgi okuryazarlığı ile sağlık okuryazarlığı arasındaki ilişki olumludur. Ancak bu ilişki zayıftır ve her iki okuryazarlık türü arasında güçlü bir etkileşim yoktur. Sağlık okuryazarlığı arttıkça, insanların bilgi okuryazarlığı becerileri de artıyor, ancak bu artış sınırlı olduğu tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar, bilgi okuryazarlığı ve sağlık okuryazarlığı eğitim programlarının birlikte geliştirilmesinin yararlı olabileceğini göstermektedir. Bireylerin dijital araçlar ve sağlık bilgisi hakkında farkındalık kazanmaları, daha bilinçli ve etkili sağlık kararları almalarına yardımcı olacağı düşünülmektedir. Daha kapsamlı ve etkileşimli eğitim süreçleri, bu ilişkiyi güçlendirebilir. Eğitimler bilgi okuryazarlığı ve sağlık okuryazarlığı becerilerini geliştirmek için kullanılabilir. Tıbbi dokümantasyon ve sekreterlik programlarının müfredatı, sağlık ve bilgi okuryazarlığı becerilerini desteklemek için güncellenebilir. Öğrencilerin bu becerileri gerçek hayatta kullanmasını sağlamak için özellikle pratik uygulamalara yer verilmesi oldukça önemlidir.

Öğrencilerin sağlık ve bilgi okuryazarlığı becerilerini geliştirmek için müfredata konuya ilişkin dersler eklenmelidir. Güvenilir kaynakların tanımlanması, bilgi doğrulama süreçleri ve dijital araçların etkin kullanımı bu derslerin içeriğinde yer almalıdır.

KAYNAKÇA

30. Association of College and Research Libraries (ACRL). (2000). *Information Literacy Competency Standards for Higher Education*. Chicago, IL: American Library Association
31. Association of College and Research Libraries (ACRL). (2015). *Framework for Information Literacy for Higher Education*. Chicago, IL: American Library Association.
32. Julien, H., & Genuis, S. K. (2011). Librarians' experiences of the teaching role: A national survey of librarians. *Library & Information Science Research*, 33(2), 103-111.
33. Detlor, B., Julien, H., Willson, R., Serenko, A., & Lavalley, M. (2011). Learning outcomes of information literacy instruction at business schools. *Journal of the American society for information science and technology*, 62(3), 572-585.
34. Mokhtar, I. A., Majid, S., & Foo, S. (2008). Teaching information literacy through learning styles: The application of Gardner's multiple intelligences. *Journal of Librarianship and Information Science*, 40(2), 93-109.
35. Simonds, S. K. (1974). Health education as social policy. *Health Education Monographs*, 2(Suppl 1), 1-10. <https://doi.org/10.1177/10901981740020S101>
36. Zurkowski, P. G. (1974). *The Information Service Environment Relationships and Priorities*. Washington, DC: National Commission on Libraries and Information Science.
37. American Medical Association. (1999). Health literacy: Report of the Council on Scientific Affairs. *JAMA*, 281(6), 552-557. <https://doi.org/10.1001/jama.281.6.552>
38. Nutbeam, D. (1998). Health promotion glossary. *Health Promotion International*, 13(4), 349-364. <https://doi.org/10.1093/heapro/13.4.349>
39. Parker, R. M., Baker, D. W., Williams, M. V., & Nurss, J. R. (1995). The test of functional health literacy in adults: A new instrument for measuring patients' literacy skills. *Journal of General Internal Medicine*, 10(10), 537-541. <https://doi.org/10.1007/BF02640361>

40. U.S. Department of Health and Human Services. (2000). *Healthy People 2010: Understanding and improving health*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
41. Berkman, N. D., Sheridan, S. L., Donahue, K. E., Halpern, D. J., & Crotty, K. (2011). Low health literacy and health outcomes: An updated systematic review. *Annals of Internal Medicine*, 155(2), 97-107. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-155-2-201107190-00005>
42. Sørensen, K., Van den Broucke, S., Fullam, J., Doyle, G., Pelikan, J., Slonska, Z., & Brand, H. (2012). Health literacy and public health: A systematic review and integration of definitions and models. *BMC Public Health*, 12(1), 80. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-80>
43. Berkman, N. D., Sheridan, S. L., Donahue, K. E., Halpern, D. J., & Crotty, K. (2011). Low health literacy and health outcomes: An updated systematic review. *Annals of Internal Medicine*, 155(2), 97-107. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-155-2-201107190-00005>
44. Ratzan, S. C., & Parker, R. M. (2000). Introduction. In C. R. Selden, M. Zorn, S. C. Ratzan, & R. M. Parker (Eds.), *National Library of Medicine current bibliographies in medicine: Health literacy*. NLM Pub. No. CBM 2000-1. Bethesda, MD: National Institutes of Health, U.S. Department of Health and Human Services.
45. Sørensen, K., Van den Broucke, S., Fullam, J., Doyle, G., Pelikan, J., Slonska, Z., & Brand, H. (2012). Health literacy and public health: A systematic review and integration of definitions and models. *BMC Public Health*, 12(1), 80. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-80>
46. Marchionini, G. (1995). *Information seeking in electronic environments*. Cambridge: Cambridge University Press.
47. Wilson, T. D. (1999). Models in information behaviour research. *Journal of Documentation*, 55(3), 249-270. <https://doi.org/10.1108/EUM0000000007145>
48. Kuhlthau, C. C. (1991). Inside the search process: Information seeking from the user's perspective. *Journal of the American Society for Information Science*, 42(5), 361-371. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4571\(199106\)42:5<361::AID-ASI6>3.0.CO;2-%23](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4571(199106)42:5<361::AID-ASI6>3.0.CO;2-%23)

ENTITY MATCHING ON PURCHASE ORDER AND INVOICE LINES USING DEEP LEARNING TECHNIQUES

Ufuk İlke Avcı

Yeditepe University, Department of Computer Engineering,
ufukilke.avci@std.yeditepe.edu.tr - 0000-0002-6808-8948

Murat Öz

Intecon Information Technology and Consulting, R&D Department,
murat.oz@intecon.com.tr - 0009-0001-5660-6701

Barış Deveci

Intecon Information Technology and Consulting, R&D Department,
baris.deveci@intecon.com.tr - 0009-0001-7316-2049

Abstract

This study proposes a novel deep learning approach to automate the matching process between purchase order (PO) lines and invoice lines in large-scale manufacturing companies, aiming to minimize manual effort, reduce operational costs, and eliminate errors in financial reconciliation. The system combines a convolutional neural network (CNN) for feature extraction and a fully connected network to predict matching probabilities between entity pairs. The model processes both numerical data, normalized for consistency, and textual data, encoded using BERT-based embeddings for semantic understanding. To address common challenges such as missing or incomplete data, the system incorporates robust data preprocessing pipelines and probabilistic thresholds to filter out low-confidence matches, ensuring that only reliable predictions proceed to manual review. Using real-world datasets from enterprise resource planning (ERP) systems, the model demonstrated significant improvements in matching accuracy. Furthermore, the system was deployed on a scalable architecture, allowing seamless integration with existing accounting workflows and efficient processing of large volumes of transactional data. The proposed method not only enhances efficiency and reliability in accounting operations but also reduces dependency on manual intervention, resulting in faster processing times and cost savings. Future work will focus on incorporating advanced self-supervised learning techniques to further improve the model's robustness and handling of diverse data scenarios.

Keywords : Entity Matching, Deep Learning, CNN (Convolutional Neural Network)

1. INTRODUCTION

With the acceleration of digitalization in business, invoice management and order matching have become increasingly complex. In particular, accurate and effective processing of data from different sources is of critical importance in increasing the operational efficiency of businesses. One of the biggest challenges in this process is correctly matching information from independent data sources using a common reference point. This problem becomes a complex data matching problem that requires establishing meaningful connections between invoices and ERP orders. Maintaining invoices and orders typically continues through a company's procure-to-pay process (purchase-to-pay). This process begins with an employee or department creating a request for the goods or services they need. Once the request is approved, a purchase order (PO) is prepared and sent to the supplier.

The PO lists the quantities and prices of the goods and services requested from the supplier. Delivered goods usually come with a delivery note, and the receiving company creates a goods receipt (GR) to verify that the goods were delivered complete and undamaged (Dijk, 2023). In order for a supplier to receive payment, they must issue an invoice. The invoice contains information about the goods and services delivered, as well as the quantity and price. The company must carry out some important checks before paying these invoices. These include checking that the information on the invoice matches the goods ordered and delivered and ensuring that the invoice details are correct. In this process, transferring invoice data received from PDF format or XML files with OCR (Optical Character Recognition) to the system and matching it with ERP orders involves significant difficulties due to the different structures and deficiencies of the data sources. In literature, rule-based or traditional machine learning methods are usually used in such data matching problems. However, deep learning methods have a strong potential, especially in dealing with complex data structures and providing more accurate matching results. In this study, an artificial intelligence model that can integrate data sets from different sources such as OCR and XML and uses deep learning techniques to increase accuracy was developed. This model is aimed to provide an effective solution to data matching problems in purchasing and payment processes.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Background

Recent advancements in Entity Linking (EL) and Entity Matching (EM) focus on addressing core challenges such as handling ambiguous mentions, noise, and complexity in datasets. Techniques like Reinforcement Learning-based models (Fang, 2019), Transformer-based architectures (Wang, 2022), and Generative Large Language Models (LLMs) (Peeters, 2023) demonstrate significant improvements. For instance, RL models leverage previously disambiguated entities for coherence, while Transformer-based methods like Machop excel in handling heterogeneous data with customizable definitions. LLMs, including GPT-4, offer competitive zero-shot performance and robust generalization to unseen data. Graph-based approaches, such as Siamese Graph Convolutional Networks (Krivosheev, 2021), and frameworks like ERBlox (Bahmani, 2017) integrate semantic knowledge and machine

learning for enhanced accuracy in matching. Graph networks model entity relationships, improving resilience to errors and variations, while ERBlox combines matching dependencies with SVMs for efficient duplicate detection. Similarly, neural network surveys (Barlaug) and hybrid deep learning designs (Mudgal, 2018) underline the advantages of contextual embeddings and sequence modeling for improved precision, particularly on unstructured and noisy datasets. Practical applications span from automated invoice matching (Maurya, 2020) to information extraction from diverse documents (Holeček, 2023). The optimization of similarity functions (Wang J. L., 2011) and effective knowledge base linking (Shen, 2014) address challenges like data variability and ambiguity. Future directions focus on integrating domain-specific knowledge, improving computational efficiency, and enhancing the interpretability of EM and EL pipelines for real-world use cases.

2.2. Dataset

This dataset can be used for the AI model to match invoice lines with orders in the Enterprise Resource Planning (ERP) software system. In order for the model to work correctly and efficiently, it is important to correctly describe the various options (fields). Below are the definitions of those included in this dataset that play a critical role in training the model. Each field will be used to check the accuracy of invoices and orders, ensure their matching, and prevent data integrity failure. These fields will be processed by the model as basic data points for matching invoices with orders in the ERP system.

Item Code: This field represents an item number that is found on both the invoice lines and the incoming order records of the ERP process. This number, which serves as a unique ID for each product type, is recorded in both text (string) and digital data. The Item Code is a key data point for correctly matching invoice and order records.

Unit: This field describes the unit of material and can contain both text (string) and numeric values. This information, included on invoices and purchase orders (POs), is critical to understanding the quantity and type of product.

Receipt No: It represents a unique identification number (ID) of orders on the ERP side. This field consists of numbers only and can represent multiple order lines. The same Receipt No can contain multiple lines in the ERP and these can be matched to an invoice. This feature is used as a basic data point in the matching process. **Curr:** This is a field that indicates the currency used in invoices and purchase orders (POs). This field is stored in text (string) format and is used to identify different currencies. Currency information plays an important role in checking the accuracy of invoice and order details.

Currate: This is a field that expresses the exchange rates used in invoices and purchase orders (POs). This field is stored in a numerical format and is used to convert different currencies to each other. Exchange rate information is an important parameter in checking the accuracy of invoice and order amounts.

Quantity: Indicates the quantity of goods or services included in invoices and purchase orders (POs). This field is stored in a numerical format only and is used to check the accuracy of products and the availability of orders.

Amnt: Represents unit price information found on invoices and purchase orders (POs). This field is stored in a numerical format only and is a critical data point for accurately calculating the cost of each product or service.

Price: This field is obtained by multiplying the Quantity and Amount fields and is stored in a numerical format. Unit price information on invoices and orders is important for calculating the total value of products or services.

Invoicematerialdesc: Provides the description of the product in the invoice report. This field is a combination of the product name, specifications or other descriptions. Product code, text and digital values are distributed. This is used to ensure that the product details in the invoice file are correctly matched.

2.3. Methodology

The aim of this study is to automate the matching process between purchase order (PO) lines and invoice lines to accelerate accounting workflows, reduce manual labor, and minimize error rates. To achieve this, a deep learning-based model has been developed, and its performance has been enhanced through detailed processes of data preprocessing, model training, and prediction. The methodology of the study is presented below under three main sections.

2.4. Model Architecture

The proposed model consists of two main components. The first component is the feature extractor, which uses a convolutional neural network (CNN) to analyze relationships between two entities and extract meaningful features from these interactions. This layer is designed to effectively handle both textual and numerical data types, providing robust feature representations for the matching process. The second component is the matching prediction mechanism, where the features extracted by the CNN are processed by a fully connected network. This network calculates the matching probabilities of entity pairs by leveraging learned weights to evaluate the relative importance of input data. The decisionmaking process is driven by these weights, ensuring that the model assigns appropriate significance to each input.

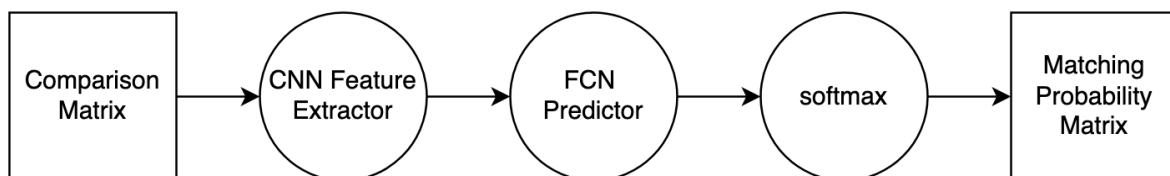


Figure 1. Model Architecture

Figure 1 visualizes the architecture of the model. The input section includes "PO Lines" and "Invoice Lines," which are passed to the CNN layers for feature extraction. The outputs of the CNN are then fed into the fully connected network, which produces the final output as "Matching Probability." This figure is designed to provide readers with a clear understanding of the internal workings of the model.

2.5. Data Processing

To improve model accuracy and reduce data complexity, a comprehensive data preprocessing pipeline has been implemented. The preprocessing is divided into two main parts. The first part involves numerical data processing, where numerical values are normalized based on the ratio of differences between two compared values. This normalization process is performed using the tanh function, which scales the values to the range of [-1, 1]. The second part addresses textual data processing. Textual fields are tokenized and vectorized using a BERT-based tokenizer. These vectors are then enriched with positional embeddings to preserve contextual and spatial information. Finally, the resulting vectors are compared using cosine similarity, which quantifies the degree of similarity between the two text fields. This preprocessing approach ensures that both numerical and textual data are adequately prepared for the matching task, enhancing the overall performance of the model.

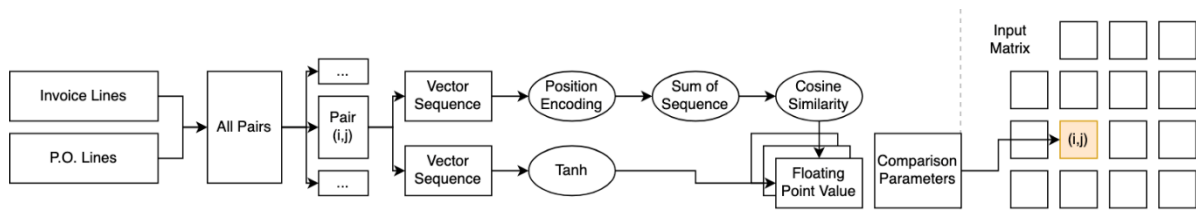


Figure 2. Data Preprocessing

Figure 2 details the data preprocessing steps. On the left side, the inputs, "PO Lines" and "Invoice Lines," are depicted. Numerical data undergoes difference ratio calculation and tanh normalization, while textual data is processed through BERT-based tokenization and positional embedding. Both streams converge to form a "Matching Matrix," which is subsequently used as input to the model. This figure highlights the structured steps in the data preprocessing workflow, making the process easy to follow for readers.

2.6. Complete System

The system is designed as a sequence of three main processes: data preprocessing, model training, and prediction. In the first phase, potential matches between PO and invoice lines are generated, and the input data is prepared to meet the requirements of the model. During the model training phase, the model learns matching probabilities from the training dataset, improving its accuracy through iterative learning. Finally, in the prediction phase, the trained model calculates matching probabilities for new datasets. Low-probability matches are filtered out for manual review, while high-probability matches are directly forwarded to the results.

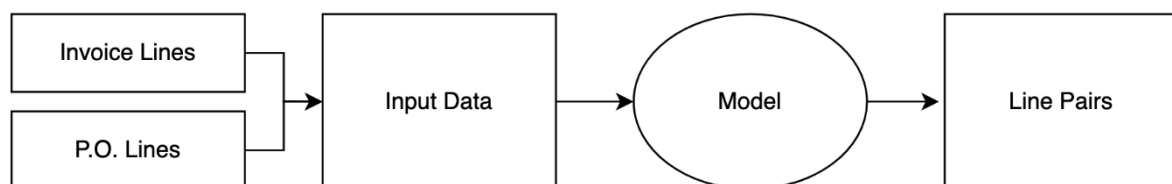


Figure 3. System Workflow

Figure 3 illustrates the overall operation of the system through a flow diagram. The process begins with "Data Preprocessing," transitions to "Model Training," and concludes with the "Prediction Phase." At the end of the workflow, low-probability matches are directed to manual review, while high-probability matches are automatically accepted. This figure serves to visualize the organization and progression of the entire methodology, providing a comprehensive overview for readers.

3. RESULT

The performance of the proposed model for automating the matching process between purchase order (PO) lines and invoice lines was evaluated using several metrics. The model's overall accuracy was calculated as 59.59%, reflecting its classification success across the entire dataset. Precision, which indicates the proportion of correctly classified positive predictions, was 41.07%, demonstrating how accurately the model identified true matches among its positive predictions. Recall, representing the proportion of actual positives correctly identified, was measured at 69.77%, highlighting the model's ability to detect matches. The F1 score, which balances precision and recall, was calculated as 51.89%. Specificity, which measures the proportion of correctly identified negatives, was found to be 61.29%, showing the model's capacity to distinguish between negative classes.

4. DISCUSSION

The performance evaluation of the model reveals both strengths and weaknesses in the matching prediction process. The accuracy rate indicates that the model has moderate classification success but requires further improvement. The precision rate shows that nearly half of the positive predictions were incorrect, reflecting a need for better handling of false positives. However, the recall rate demonstrates that the model performed well in detecting actual matches. The F1 score, which reflects the balance between precision and recall, indicates overall acceptable performance, exceeding 50%.

REFERENCES

1. Bahmani, Z. B. (2017). ERBlox: Combining matching dependencies with machine learning for entity resolution. *International Journal of Approximate Reasoning*, (s. 83, 118-141).
2. Barlaug, N. &. (tarih yok). Neural networks for entity matching: A survey. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data. TKDD*, (s. 1-37).
3. Dijk, Y. V. (2023). *Invoice Matching with Level of Confidence*.
4. Fang, Z. C. (2019). Joint Entity Linking with Deep Reinforcement Learning. *The world wide web conference*, (s. 438-447).

5. Holeček, M. (2023). Information Extraction from Structured Business Documents.
6. Krivosheev, E. A. (2021). Business Entity Matching with Siamese Graph Convolutional Networks. *Business entity matching with siamese graph convolutional networks. In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, (s. Vol. 35, No. 18, pp. 16054-16056).
7. Maurya, C. K. (2020). Online Similarity Learning with Feedback for Invoice Line Item Matching., (s. arXiv:2001.00288).
8. Mudgal, S. L. (2018). Deep Learning for Entity Matching: A Design Space Exploration. *Proceedings of the 2018 international conference on management of data*, (s. 19-34).
9. Peeters, R. S. (2023). Entity Matching using Large Language Models. *arXiv preprint arXiv:2310.11244*.
10. Shen, W. W. (2014). Entity Linking with a Knowledge Base: Issues, Techniques, and Solutions. *EEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, (s. 443-460).
11. Wang, J. L. (2011). Entity Matching: How Similar is Similar., (s. 622-633).
12. Wang, J. L. (2022). Machop: an end-to-end generalized entity matching framework. *Proceedings of the Fifth International Workshop on Exploiting Artificial Intelligence Techniques for Data Management*, (s. 1-10).

React Native vs Flutter: Çapraz Platform Yazılım Geliştirme Araçlarının Native Donanım Özelliklerini Kullanımı ile Performans ve Enerji Tüketiminin Karşılaştırılması

Yüksek Lisans Öğrencisi Berk BAY

Ege Üniversitesi / Uluslararası Bilgisayar Enstitüsü
berk.bay.ce@gmail.com - 0009-0007-4207-6985

Dr. Öğretim Üyesi İlker KOCABAŞ

Ege Üniversitesi / Uluslararası Bilgisayar Enstitüsü
ilker.kocabas@ege.edu.tr - 0000-0001-7751-3136

ÖZET

Değişen dünya ve gelişen teknolojiler ile birlikte mobil cihazlar insan hayatında önemli bir yere sahip olmuştur. Farklı mobil uygulama yayınlama ve geliştirme platformları, zamanla ortaya uygulamanın platformlar arası tutarlılığı, iş gücü verimliliği, güncel teknoloji takibi, geliştirme ve bakım maliyeti gibi konularda sorunlara neden olmuştur. Çapraz platform yazılım geliştirme teknolojisi bu sorunlara çözüm olması hedeflenerek ortaya çıkmıştır. Çapraz platform yazılım geliştirme çerçeveleri, birden fazla platform ve işletim sistemine tek bir kod tabanı ile uygulama geliştirmeyi sağlamaktadır. Bu yaklaşım mobil uygulama geliştirme süreçlerini basitleştirir, verimliliğini artırır, bakım maliyetini düşürür ve farklı platformlardaki uygulama tutarlılığını artırarak kullanıcı deneyimini iyileştirmektedir. React Native ve Flutter popüler çapraz platform yazılı geliştirme çerçevelerindedir. Bu çerçeveler cihazdaki yerel donanımlara erişim, kullanıcı arayüzlerinin hazırlanması ve cihaz kaynaklarının verimli kullanılması için bir dizi yöntem sağlamaktadır. Tüm bu bilgiler ışığında bu çalışmanın amacı çapraz platform yazılım geliştirme teknolojileri içerisinde yaygın olarak kullanılan React Native ve Flutter çerçevelerinin mimari yapılarının, yerel donanım kaynaklarına erişim için kullandığı yapı ve methodların, bu kaynakları kullanarak oluşturulan geliştirmelerdeki performanslarının karşılaştırılmasıdır. Çalışma kapsamında çerçevelerin yerel kaynakları kullanarak kullanıcıya sunduğu bazı geliştirmelerin kopya demoları iki platform için de hazırlanmış, bu demolar üzerinden performans testleri gerçekleştirilmiş, farklı performans parametrelerinde karşılaştırmalar yapılmış ve iki çerçevenin mimari yapıları ile yerel donanım kaynaklarına erişim için kullandığı methodlar incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda enerji tüketimleri açısından net farklar gözlemlenememiş olsa da, performans metrikleri incelendiğinde okuyuculara belirli farklar sunmuştur. Değerlendirilen mimari yapı ve yerel kaynaklara erişim methodları ile beraber elde edilen tüm sonuçlar geliştiricilere ve yatırımcılara bir mobil uygulama geliştirmeden önce tercih edecekleri çerçeve konusunda fikir sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: React Native, Flutter, Çapraz Platform, Mobil Uygulama, Yazılım Geliştirme

React Native vs Flutter: Comparison of Performance and Energy Consumption of Cross-Platform Software Development Tools Using Native Hardware Features

Master's Student Berk BAY

Ege University / International Computer Institute
berk.bay.ce@gmail.com - 0009-0007-4207-6985

Assistant Professor Dr. İlker KOCABAŞ

Ege University / International Computer Institute
ilker.kocabas@ege.edu.tr - 0000-0001-7751-3136

ABSTRACT

With the evolving world and advancing technologies, mobile devices have become an integral part of human life. Various mobile application development and publishing platforms have introduced challenges over time, such as cross-platform consistency, workforce efficiency, keeping up with technological advancements, and development and maintenance costs. Cross-platform software development technologies have emerged as solutions to address these challenges. Cross-platform frameworks enable the development of applications for multiple platforms and operating systems using a single codebase. This approach simplifies mobile application development processes, enhances efficiency, reduces maintenance costs, and improves user experience by increasing consistency across platforms. React Native and Flutter are among the most popular cross-platform development frameworks. These frameworks provide a variety of methods for accessing native hardware on devices, designing user interfaces, and utilizing device resources efficiently. In light of this information, this study aims to compare the architectural structures of React Native and Flutter, two widely used frameworks in cross-platform software development, focusing on the methods and structures they employ for accessing native hardware resources and their performance in implementations utilizing these resources. Within the scope of this study, copy demos of certain functionalities utilizing native resources were developed for both platforms. Performance tests were conducted on these demos, and comparisons were made across various performance parameters. Additionally, the architectural structures of the two frameworks and the methods that used for accessing native hardware resources were examined and evaluated. While the results did not reveal significant differences in energy consumption, notable distinctions in performance metrics were observed, offering insights to readers. The findings, combined with the evaluated architectural structures and resource access methods, provide developers and investors with guidance on selecting the appropriate framework before embarking on mobile application development.

Keywords: React Native, Flutter, Cross-Platform, Mobile Application, Software Development

GİRİŞ

Akıllı telefonlar teknolojinin getirdiği yeniliklerle birlikte sadece birer haberleşme aracı olmaktan çıkmış, birçok farklı alanda insan hayatını kolaylaştıran araçlara dönüşmüşlerdir. Bu sebeple akıllı telefonlara olan ilgi her geçen gün artmaktadır (Kumcağız ve diğerleri, 2020). Gelişen teknolojiler ile birlikte 2023 yılındaki dünyada akıllı telefon kullanan kişi sayısı yaklaşık 4 milyarken, 2024 yılının sonuna gelindiğinde bu sayının tahminen 5 milyara yaklaşması beklenmektedir (Dean, 2024).

Kasım 2007 yılında Google tarafından Android işletim sistemi duyurulmuştur (Okediran ve diğerleri, 2014). Android uygulamalar Java ve Kotlin gibi yazılım dilleri ile geliştirilmektedir (Android Sürümleri Hakkında, 2024). IOS işletim sistemi, 29 Haziran 2007’de piyasaya sürülen iPhone ile birlikte ilk olarak kullanılmıştır. IOS, Objective-C ve Swift gibi yazılım geliştirme dilleriyle geliştirmeye olanak sağlamaktadır (Verma ve Sambhav, 2020).

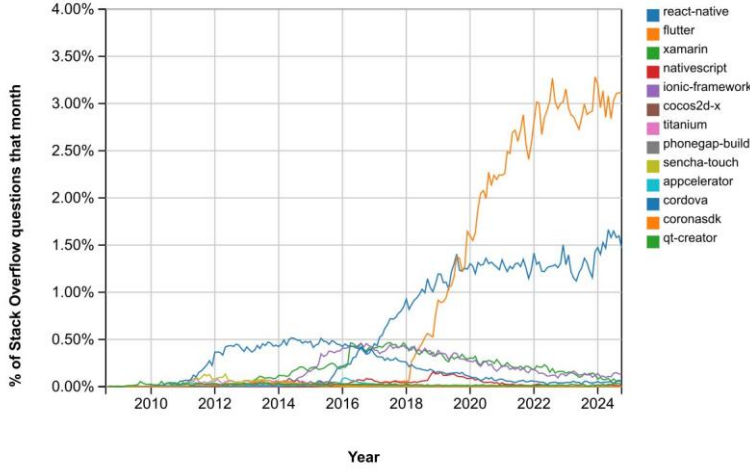
IOS veya Android işletim sisteme uygulama geliştirirken platformların yerel dillerinin kullanılması gerekmektedir. Bu durum nedeniyle iki farklı platformda geliştirme yapabilmek için daha fazla zaman ve istihdam sağlanmalıdır. Aynı zamanda iki platforma da uygulama geliştirilmek istenirse süreç iki kat uzayacaktır. Bu da uygulamanın geliştirme ve bakım maliyetini artırmaktadır. Bu sorunlara çözüm olarak akıllı cihazların popülerleşmesini takip eden yıllarda birçok çapraz platform yazılım geliştirme aracı ortaya çıkmıştır (Leandersson, 2022). Google Trendlerden alınan veriler ışığında, günümüzde en popüler iki çapraz platform yazılım geliştirme aracı React Native ve Flutter’dır (Google/Institution, n.d.).

MOBİL UYGULAMA GELİŞTİRME TEKNOLOJİLERİ

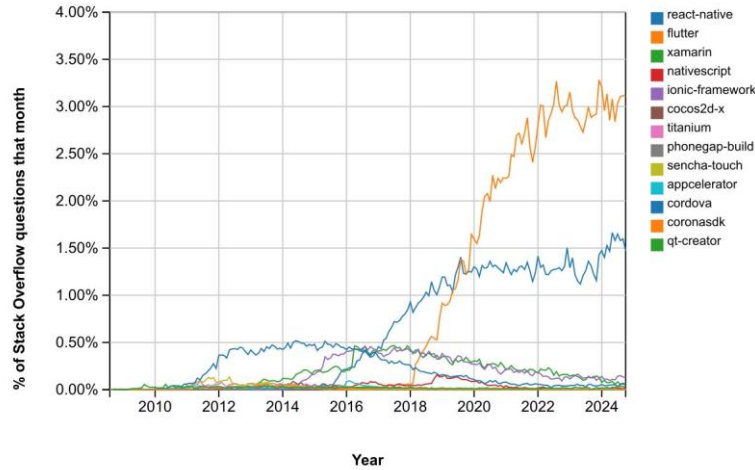
Mobil uygulamaların zaman içerisinde gösterdiği gelişim ile birlikte mobil uygulama geliştirilirken kullanılan metotlarda değişiklikler yaşanmıştır (Hu, 2023). IOS platformunda, 1983 yılında duyurulan Objective-C ve 2014 yılında Objective-C’nin getirdiği zorlukları ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilerek duyurulan Swift dilleri kullanılmaktadır (Gut ve diğerleri, 2017). 1995 yılında tanıtılan Java resmi olarak Android platformu için desteklenen ilk yazılım dilidir (Schwermer, 2018). 2017 yılında Google tarafından Kotlin için resmi destek açıklanmıştır. Java ile tam uyumluluk sağlamaktadır (Ardito ve diğerleri, 2020). Yerel uygulamalar, iOS veya Android gibi işletim sistemleri için işletim sistemine özel olarak geliştirilen uygulamalardır. Bu nedenle hazırlandıkları platformların kendi yazılım dillerinde geliştirilirler (Abrahamsson ve Berntsen, 2017). Farklı işletim sistemleri için geliştirilecek uygulamalarda bu durum maliyetlerin artmasına neden olur, fakat çapraz platform yazılım geliştirme dillerine göre çalıştıkları cihazda daha düşük kaynak tüketimi ve daha yüksek performans vermeleri nedeniyle daha kullanıcı dostu uygulamalar geliştirilebilmektedir (Hu, 2023).

Tek bir kaynak koduyla birden fazla platforma uygulama geliştirme hedefiyle ortaya çıkan çapraz platform methodları, yerel platform yazılım geliştirme dillerine göre sağladıkları geliştirme süreci ve bakım avantajları ile popülerlik kazanmıştır. Çapraz platform yazılım

geliştirme araçlarına React Native, Flutter, Xamarin, Ionic gibi yazılım geliştirme araçlarını örnek olarak verilebilir (Gülcüoğlu ve diğerleri, 2021). Stack Overflow ilgili soru aratma yüzdelerine göre 14 Kasım 2024 tarihi itibarıyla bunların içinde en popüler olanları React Native ve Flutter olduğu



Görsel 19’de görülmektedir (Overflow, n.d.).



Görsel 19. Mobil Geliştirme Çerçevesinin Popülarite Trendleri, 2024 , (Overflow, n.d.)

React Native, Javascript yazılım geliştirme dili kullanılarak geliştirilmiş, mobil platformlar için uygulama geliştirmek için kullanılan açık kaynak kodlu bir çapraz platform yazılım geliştirme çerçevesidir. Yerel yazılım geliştirme dilleriyle performans kıyaslandığında yakın sonuçlar vermektedir (You ve Hu, 2021). 2015 yılında Facebook tarafından geliştirilmiştir. (Shah ve diğerleri, 2019).Flutter ise ücretsiz bir platform olup Dart yazılım geliştirme diliyle geliştirilen çapraz platform uygulama geliştirme çerçevesidir. React Native’ e benzer şekilde Flutter yerel yazılım geliştirme dilleri ile geliştirilen Android ve IOS işletim sistemleri uygulamalarıyla performans olarak yakınlık göstermektedir (You ve Hu, 2021). Google tarafından 2016 yılında piyasaya sürülmüştür(Tashildar ve diğerleri, 2020). Şekil ... ‘ de Flutter ile yazılmış uygulamalar gösterilmektedir.

React Native

React Native, çapraz platform mobil uygulama geliştirme çerçevesi mobil uygulama geliştirmek için kullanılan popüler çerçevelerden biridir (Tajik ve Lindström, 2023). 2015 yılında Facebook tarafından React.js için düzenlenmiş konferansta duyurulmuştur. Açık kaynak olarak sunulan React Native, iOS ve Android işletim sistemlerinde tek bir kaynak kod kullanarak uygulama geliştirmeyi hedeflemektedir (Hansson ve Vidhall, 2016). React Native, açık kaynak kodu olması nedeniyle, Facebook içindeki topluluk dışında da ortaya çıkan ve gelişen bir topluluğa sahiptir (Alpert, 2018). React Native'in temel avantajlarından biri, geliştiricinin mevcut JavaScript ve React kodlarını doğrudan veya az değişiklikle React Native'e uygulanabilmesi ve mobil uygulamaya yansımadır. Ayrıca React Native, gerçek zamanlı olarak kod değişikliklerini görmeyi mümkün kılan "live reload" özelliğine sahiptir (Paul & Nalwaya, 2019). JSX (JavaScript XML), React Native tarafından geliştiricilere kullanımı tavsiye edilen ve geliştiriciler tarafından yaygın olarak da kullanılan JavaScript uzantılı bir sözdizimidir (Beshir, 2016).

React Native'i diğer çapraz platform yazılım geliştirme çerçevelerinden ayıran özellik JavaScript ile yerel platform bileşenleri arasında etkileşimi sağlayan köprü (bridge) yapısı olarak göze çarpmaktadır (Tajik ve Lindström, 2023). Köprü aracılığıyla JavaScript kodunun yerel API'lar ile çalışması, konum, kamera vb. yerel donanım özellikleriyle etkileşime girebilmesi anlamına gelmektedir (Hansson ve Vidhall, 2016). React Native 0.68 versiyonuyla yeni mimari yapısını geliştiricilere sunmuştur. Her gün gelişmekte olan yeni mimari yapısı çalışmanın yapıldığı tarihte varsayılan ve kararlı hale gelmemiştir. Yeni mimari yapıda köprü yapısı ortadan kalkmaktadır. Köprü yapısı yerine referanslar tutarak çalışan JSI yapısına geçilmektedir (React Native Architecture, 2024). Yeni mimari yapının dört ana bileşeni Codegen, JSI (JavaScript Interface), TurboModules ve Fabric'tir (Nenha, 2024).

Flutter

Flutter'ın ilk kararlı sürümünün yayınlanma yılı 2018'dir. Açık kaynak kodlu olarak, Google tarafından geliştirilmiş, çapraz platform uygulama geliştirme çerçevesidir. Flutter 2021 yılında tanıtılmış 2.0 sürümü ile birlikte masaüstü (macOS, Linux ve Windows) ve web tabanlı uygulamalar için resmi olarak destek vermeye başlamıştır. Bu eklemeye beraber Flutter, geliştiricilere tek bir kaynak kod tabanı ile Android ve IOS başta olmak üzere Windows, macOS, Web ve Linux için uygulamalar geliştirme fırsatı sunar hale getirilmiştir (Palumbo, 2021). Flutter, birbirinden farklı platformlarda kullanıcıya yüksek performanslı ve doğal hissettiren uygulamalar sunmayı hedeflemektedir (Flutter architectural overview, 2024).

Flutter mimarisi, katmanlı ve aynı zamanda genişletilebilir bir sistem olarak planlanmıştır (Zhou, 2024). Çeşitli hizmetlerin, farklı bileşenlere bölünmesi ve her bir bileşeninde net biçimde tanımlanmış görevlerinin olduğu bir yapı olması, katmanlı yapısının sebebi olarak ortaya konmaktadır (Palumbo, 2021). Flutter mimarisindeki bu katmanlar, uygulama geliştirme süreçlerini ve uygulama arayüzünün işlenmesi için gerçekleştirilecek işlemlerin verimi arttırmaktır (Zhou, 2024). Flutter, Dart programlama diliyle uygulamaların yazılmasını sağlamaktadır. Dart programlama dilinin tercih edilmesinin nedeni, nesne yönelimli bir programlama dili olması, önceden derleme olarak ifade edilen AOT (ahead-of-time) desteği ve uygun kullanıcı arayüzü

geliştirme yapısı olarak açıklanabilmektedir. Dart programlama dilinin AOT ile derleme gerçekleştirmesi, Flutter ile geliştirilen uygulamaların tüm platformlardaki çalışma performansını arttırmaktadır ve uygulamaların doğrudan yerel kod üzerine derleme yapmasını mümkün kılmaktadır (Slepnev, 2020). Flutter, 3 temel mimari katmana sahiptir, Flutter Framework(Çerçeve), Flutter Engine(Motor) ve Flutter Embedder(Gömücü) bu katmanlara verilen isimlerdir (Flutter architectural overview, 2024).

Flutter'da widgetlar, Flutter kullanıcı arayüzünün temel yapı taşlarıdır. Flutter ile geliştirilen uygulamalar, uygulamanın kendisi de dahil olmak üzere her şey bir widget mantığıyla geliştirilir. Her widget, sahip olduğu kendi üst widget'ının içine yerleştirilirken, bağlamını da üst widget'dan alabilir. Kurgulanan bu yapı tüm uygulama için geçerli olup, en üstten başlayarak aşağıya doğru bir ağaç yapısı oluşturur (Widgets, 2024).

MOBİL TESTLER

Çapraz platform yazılım geliştirme araçları mobil uygulamalar, web uygulamaları, tv uygulamaları ve masaüstü uygulamaları gibi bir çok alanda uygulama geliştirebilme yeteneğine sahiptir. Ancak bu çalışma çerçevesinde mobil cihazlar üzerinden testler gerçekleştirilecektir. Testlerde kullanılacak olan cihazların özellikleri Çizelge Error! No text of specified style in document..12'de yer almaktadır.

Çizelge Error! No text of specified style in document..12. Kullanılacak Test Cihazlarının Özellikleri

Özellik	Galaxy A53 5G	iPhone 14
İşlemci Kapasitesi	2x2.4 GHz ARM Cortex-A77 + 6x20 GHz Cortex-A55	A15 Bionic
RAM Kapasitesi	8 GB	6 GB
Dahili Hafıza	64 GB	128 GB
Pil Gücü	5000 mAh	3279 mAh
İşletim Sistemi	Android 14	iOS 17.7

Gerçekleştirilecek olan testlerde React Native ve Flutter çapraz platform yazılım geliştirme çerçeveleri ile hazırlanmış, çerçeveler popüler olarak kullanılan özellikler barındıran 5 demo uygulama değerlendirilecektir. Bu çerçeveler ile geliştirilmiş iki birbirinin aynısı uygulama kullanılarak Android ve IOS platformlarında testler gerçekleştirilecektir. Testler için hazırlanacak uygulamalar geliştirilirken çerçeveye özgü yardımcı kütüphaneler yararlanılacaktır. Kullanılan yardımcı kütüphaneler testlerin gerçekleştirildiği tarihte her iki çerçeve içinde popüler olarak kullanılan yardımcı kütüphanelerdir. İlgili yardımcı kütüphaneler Çizelge Error! No text of specified style in document..13'de gösterilmiştir.

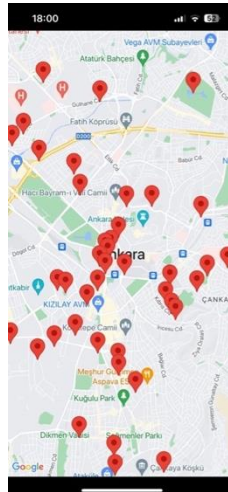
Çizelge Error! No text of specified style in document..13. Çerçevelerin Testlerde Kullanılacak Yardımcı Kütüphaneleri

Özellik	React Native	Flutter
Test 1: Google Maps	react-native-maps	google_maps_flutter
Test 2: Kamera	react-native-vision-camera	camera
Test 3: Konum	react-native-vision-camera expo-location	google_maps_flutter geolocator
Test 4: İvmeölçer	react-native-chart-kit	fl_chart
Test 5: Dosya Okuma/Yazma	react-native-fs	path_provider

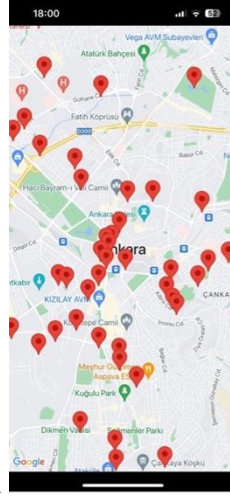
Testler sırasında React Native ve Flutter çerçevelerinin, testlerin gerçekleştirildiği tarihteki en kararlı güncel versiyonları kullanılacaktır. Testler süresince her iki cihazda ve her iki çerçevede yapılacak işlemler birbirinin aynısı olacaktır. Her bir test için cihazların normal ısı seviyelerine düşmesi beklenenecek ve telefonlar yeniden başlatılarak donanımlarının başka uygulamalardan tarafından meşgul olmaması sağlanacaktır. Tüm işlemleri gerçekleştiren uygulamalar, testler tamamlandıktan hemen sonra kapatılacaktır. Tüm testler en az 3 kere tekrarlanacak ve elde edilen verilerin ortalamaları hesaplanarak test sonuçları olarak paylaşılacaktır.

Test 1: Google Haritalar

Test 1, Google Haritalar'ı kullanan bir mobil uygulamanın demosunu içermektedir. Herhangi bir native donanıma erişmeden, Google Haritalar uygulamasını geliştirdiğimiz uygulamada kullanarak çerçevelerin platformlardaki performansını görmek amacıyla planlanmıştır. Test süresince cihazdaki yükü arttırmak, gerçeğe yakın bir senaryoyu canlandırabilmek için belirlenen konumun yakınına 100 adet marker yerleştirilecektir.



Görsel 20. Google Haritalar Test Uygulaması

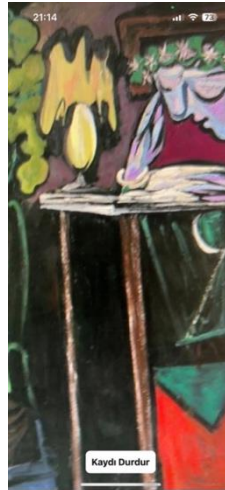


Uygulamanın temel görünümü

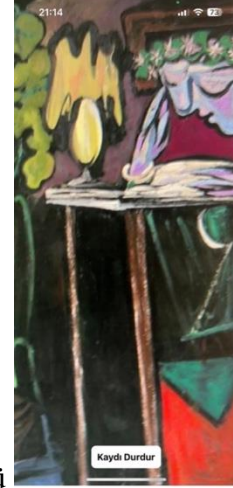
Görsel 20' de yer almaktadır. Harita üzerine yerleştirilen 100 adet marker ile performans yükünün artırılması ve elde edilecek verilerin daha ayrıştırıcı olması hedeflenmektedir. Her iki işletim sisteminde ve yazılım geliştirme platformunda gerçekleştirilecek olan test süresince iki kere sol, iki kere sağ, iki kere yukarı, iki kere aşağı ve iki kere yakınlaştırıp uzaklaştırma hareketleri yapılacaktır. Bu hareket zinciri tek bir test için 2 kere yapılacak, hemen ardından test sonlandırılacak ve uygulamanın performans verileri kaydedilecektir.

Test 2: Kamera

Test 2, basit kamera kullanımı içeren bir mobil uygulama demosudur. Uygulama cihazın kamera donanımına erişim sağlayarak, belirlenen işlemleri gerçekleştirecek şekilde planlanmıştır. Test süresince cihaz'daki kamera donanımına erişen uygulamaların performansını görmek amacıyla kamera ile video kaydı yapılacak ve fotoğraf çekme özelliği tekrarlanarak testler gerçekleştirilecektir.



Görsel 21. Kamera Test Uygulaması

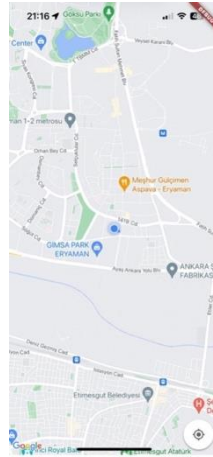


Kamera testi için hazırlanan mobil uygulamanın görüntüsü

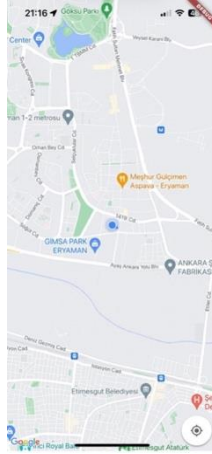
Görsel 21' de yer almaktadır. Her iki işletim sisteminde ve yazılım geliştirme platformunda gerçekleştirilecek olan testlerde sırasıyla uygulama açıldıktan 10 saniye sonra video kaydı otomatik olarak başlayacak, video kaydı başladıktan 20 saniye sonra otomatik video kaydı sonlandırılacaktır. Sonlandırma işlemi sonrasında 1 saniye aralıklar ile 10 saniye boyunca otomatik fotoğraf çekimi yapacaktır. Video çekimi sırasında kamera açısı test eden kişi tarafından 4 saniye aralıklar ile değiştirilecek, otomatik fotoğraf çekimi sırasında da 1 saniye aralıklar ile bu işlem tekrarlanacaktır.

Test 3: Konum

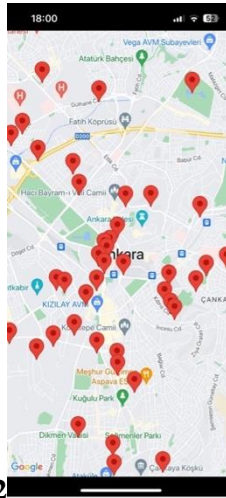
Test 3, cihazdan konum bilgisini alıp Google Haritalar uygulamasında canlı olarak gösteren bir mobil uygulamanın demosudur. Uygulama, cihazın konum özelliğini aktif etmesini kullanıcı izni ile sağlayarak, konum özelliğinden anlık verileri okuyup kullanıcılara göstermesi üzerine planlanmıştır. Testler sırasındaki uygulamadaki performans yükünü arttırmak amacıyla bir dizi işlem yapılacaktır.



Görsel 22. Konum Test Uygulaması



Uygulamanın temel görünümü

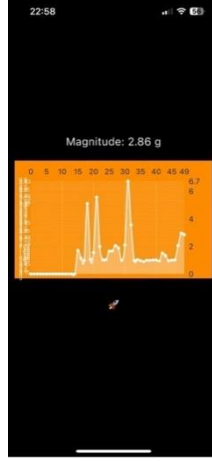


Görsel 22

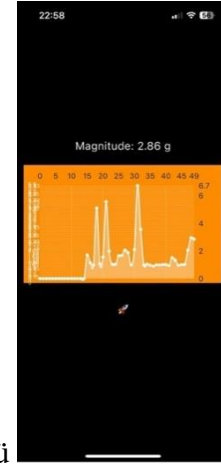
Görsel 20'de yer almaktadır. Her iki işletim sisteminde ve yazılım geliştirme platformunda gerçekleştirilecek olan test süresince iki kere sol, iki kere sağ, iki kere yukarı, iki kere aşağı ve iki kere yakınlaştırıp uzaklaştırma hareketleri yapılacaktır. Bu hareket zinciri tek bir test için 2 kere yapılacak, hemen ardından test sonlandırılacak ve uygulamanın performans verileri kaydedilecektir.

Test 4: İvmeölçer

Test 4, bir mobil uygulamada cihazın ivme sensörünü kullanan bir özelliğin demosu olarak planlanmıştır. Uygulama, cihazın sensör donanımına erişim sağlayarak, anlık olarak ivme sensöründen verileri okuyacaktır. Test süresince cihaz'daki sensör donanımına erişen uygulamaların performansını ayırtırmak ve uygulamadaki yükü arttırmak için alınan veriler ile bir grafik oluşturması beklenecektir. Her iki çerçeve ve platformda da belirlenen değerin üstüne çıkması ekranda çizilen grafiğin altına bir animasyon göstermesi planlanmaktadır.

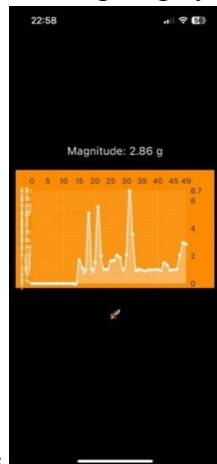


Görsel 23. İvmeölçer Test Uygulaması



İvmeölçer testi için hazırlanan mobil uygulamanın görüntüsü

Görsel 23'de yer almaktadır. Her iki işletim sisteminde ve yazılım geliştirme platformunda gerçekleştirilecek olan testlerde sırasıyla uygulama açıldıktan sonra anlık olarak alınan sensör verileri ekrandaki grafiğe yansıtılacak şekilde planlanmıştır. İvme değerinin 2,5g



değerini geçmesi halinde

Görsel 23'de görülebileceği üzere grafiğin altında bir roket ikonu animasyon ile ortaya çıkmaktadır. Tüm ortam ve çerçeve testlerinde 3 kere animasyonun tetiklenmesi sağlanacaktır. Verilerin değerlendirilmesi aşamasında cihazdaki ilk grafik oluşturma işlemi sırasındaki performans metrikleri dikkate alınmayacaktır.

Test 5: Dosya Yazma/Okuma

Test 5, uygulamadan cihaz dosya yazma işlemini ve uygulamanın cihazdan dosya okumasını işlemini simüle eden bir işlem demosudur. Flutter ve React Native çerçeveleri ile hazırlanan uygulamalarda farklı işletim sistemlerindeki cihaza dosya yazma ve cihazdan dosya okuma özelliğinden yararlanarak belirli testler gerçekleştirilecektir. Farklı boyutlarda dosyalar üzerinde işlemler gerçekleşecek ve performansları arasında ayrıştırma yapılması hedeflenecektir.



Dosya Okuma ve Yazma
Performans Testi
Konsola yazma ve okuma süreleri
yazdırılıyor.

Görsel 24. Dosya Yazma/Okuma Test Uygulaması

Dosya Yazma/Okuma testi için kullanılacak uygulamaların örnek görüntüsü Görsel 24'da yer almaktadır. Testler sırasında cihaza yazılacak ve cihazdan okunacak dosyaların boyutları 1 MB, 10 MB ve 25 MB olarak belirlenmiştir. Test edilen tüm uygulamalarda belirlenen boyutlardaki dosyalar önce cihaza yazılacak, ikinci dosyanın yazımına geçilmeden önce, cihaza yazılan dosya için uygulama tarafından cihazdan okuma işlemi gerçekleştirilecektir. Sırasıyla bu işlem 1 MB, 10 MB ve 25 MB dosya için gerçekleştirildikten sonra elde edilen veriler kaydedilecektir.

TEST SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Gerçekleştirilen performans testlerinin ölçülmesi için IOS'da hazırlanan uygulamalar için XCode'un içinde yer alan Instruments aracı, Android'de hazırlanan uygulamalar için Android Studio'nun içerisinde yer alan Profiler aracı kullanılmıştır. Bu bölümde her iki çerçeve ve platformda yapılan testlerden elde edilen verileri paylaşılacak, paylaşılan veriler üzerinden karşılaştırmalar yapılacaktır. Yapılan karşılaştırmalar ile hazırlanan demo uygulamalarda elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir.

Test Sonuçları

Çizelge Error! No text of specified style in document..14. Test 1: Google Haritalar Sonuçları

İşletim Sistemi	IOS		ANDROID	
Çapraz Platform Çerçevesi	Flutter	React Native	Flutter	React Native

İşlemci Kullanımı (CPU)	%56,89	%48	%35- %40	%28 - %33
RAM Kullanımı	849,73 MiB	650,72 MiB	290 mb – 300 mb	320 mb – 330 mb
Bellek Kullanımı	280,26 MiB	200,73 MiB	170 mb -180 mb	170 mb – 180 mb
Enerji Tüketimi	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	Düşük
Grafik Kullanımı	%11,56	%13,53	145 mb – 155 mb	100 mb – 110 mb

Google Haritalar için gerçekleştirilen testlerden elde edilen çerçeve ve platform özelindeki sonuçlar Çizelge Error! No text of specified style in document..14’de yer almaktadır. Çizelge incelendiğinde IOS platformunda geliştirilen uygulamalarda React Native CPU kullanımı, RAM kullanımı ve Bellek kullanımı metriklerinde Flutter’a göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Grafik kullanımı metriğini değerlendirdiğimizde IOS platformunda Flutter’ın React Native’e kıyasla daha iyi bir verdiği görülmektedir. Android işletim sistemi için gerçekleştirilen test sonuçları incelendiğinde ise CPU kullanımı ve Grafik kullanımı metriklerinde elde edilen sonuçlarda React Native Flutter’a kıyasla daha iyi performans gösterirken, Flutter ile geliştirilen uygulama Ram kullanımı sonuçlarında React Native’e daha iyi performans göstermiştir. Android platformunda her iki çerçeveninde Bellek kullanımı sonuçları benzerlik göstermektedir. Enerji tüketimi değerlerinde ise her iki çerçevede, IOS platformunda kullanılan ölçüm aracı olan XCode’un çok yüksek kategorisinde yer alırken, Android platformunda sonuçları ölçümlemek için kullanılan Android Studio’ya göre düşük kategorisinde değerlendirilmiştir.

Çizelge Error! No text of specified style in document..15. Test 2: Kamera Sonuçları

İşletim Sistemi	IOS		ANDROID	
	Flutter	React Native	Flutter	React Native
Çapraz Platform Çerçevesi	Flutter	React Native	Flutter	React Native
İşlemci Kullanımı (CPU)	%24,33	%8,16	%15- %20	%15 - %20
RAM Kullanımı	338,03 MiB	162,30 MiB	220 mb – 230 mb	255 mb – 265 mb
Bellek Kullanımı	235,02 MiB	26,62 MiB	110 mb -120 mb	100 mb – 110 mb
Enerji Tüketimi	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	Düşük

Grafik Kullanımı	%26,87	%18,03	65 mb – 75 mb	45 mb – 55 mb
-------------------------	--------	--------	---------------	---------------

Kamera için gerçekleştirilen testlerden elde edilen veriler Çizelge Error! No text of specified style in document..15.2’de yer almaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde IOS ve Android platformunda geliştirilen uygulamalarda React Native, Bellek kullanımı ve Grafik kullanımı metriklerinde Flutter’a göre daha iyi performans sonuçları vermiştir. IOS işletim sistemi özelinde CPU kullanımı ve RAM kullanımında da React Native daha iyi sonuç verirken, Android işletim sistemindeki RAM kullanımı değerlerinde Flutter daha iyi sonuçlar vermiştir. Android için yapılan testlerden elde edilen sonuçlara göre CPU kullanımı için elde edilen veriler her iki çerçeve içinde benzer sonuç göstermektedir. Enerji tüketimi değerlerinde ise her iki çerçevede, IOS platformunda kullanılan ölçüm aracı olan XCode’un çok yüksek kategorisinde yer alırken, Android platformunda sonuçları ölçümlemek için kullanılan Android Studio’ya göre düşük kategorisinde değerlendirilmiştir.

Çizelge Error! No text of specified style in document..16. Test 3: Konum Sonuçları

İşletim Sistemi	IOS		ANDROID	
	Flutter	React Native	Flutter	React Native
Çapraz Platform Çerçevesi				
İşlemci Kullanımı (CPU)	%47,66	%43,66	%28 - %33	%21 - % 26
RAM Kullanımı	397,38 MiB	282,06 MiB	270 mb – 285 mb	295 mb – 310 mb
Bellek Kullanımı	275,35 MiB	182,54 MiB	165 mb – 180 mb	135 mb – 150 mb
Enerji Tüketimi	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	Düşük
Grafik Kullanımı	%11,13	%4,83	145 mb - 160 mb	80 mb – 95 mb

Konum testi için her iki cihazda gerçekleştirilen testlerden elde edilen veriler Çizelge Error! No text of specified style in document..16’de yer almaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde IOS işletim sisteminde React Native ile geliştirilen uygulama tüm performans parametrelerinde Flutter’a kıyasla daha düşük kaynak kullanımı gerçekleştirmiş, bu nedenle performansı daha iyi olarak sonuçlanmıştır. Android platformu dikkate alındığında ise React Native CPU kullanımı, Bellek kullanımı ve Grafik kullanımı verilerinde daha iyi sonuç vermiştir. Flutter ise kamera testi kapsamında sadece Android platformunda RAM kullanımı sonuçlarında React Native’in önünde bir performans sergilemiştir. Enerji tüketimi değerlerinde ise her iki çerçevede, IOS platformunda kullanılan ölçüm aracı olan XCode’un çok yüksek

kategorisinde yer alırken, Android platformunda sonuçları ölçülemek için kullanılan Android Studio’ya göre düşük kategorisinde değerlendirilmiştir.

Çizelge Error! No text of specified style in document..17. Test 4: İvmeölçer Sonuçları

İşletim Sistemi	IOS		ANDROID	
	Flutter	React Native	Flutter	React Native
Çapraz Platform Çerçevesi				
İşlemci Kullanımı (CPU)	%38	%49	%2 - %3	%6 - %8
RAM Kullanımı	418,52 MiB	645, 14 MiB	125 mb – 130 mb	175 mb – 180 mb
Bellek Kullanımı	103,18 MiB	21,72 MiB	95 mb – 100 mb	87 mb – 92 mb
Enerji Tüketimi	Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	Düşük
Grafik Kullanımı	%3,26	%1,26	18 mb – 20 mb	24 mb – 26 mb

İvmeölçer sensör testi için hazırlanan uygulamalar üzerinden gerçekleştirilen testlerden elde edilen veriler Çizelge Error! No text of specified style in document..17’ da yer almaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde IOS platformunda Flutter ile geliştirilen uygulama CPU kullanımı ve RAM kullanımı metriklerinde React Native’e kıyasla daha düşük kaynak kullanımı gerçekleştirmiştir. Aynı durum Bellek kullanımı ve Grafik kullanımı metriklerinde ise React Native lehine söz konusudur. Android işletim sisteminde ise Bellek kullanımı dışındaki performans metriklerinin tamamında Flutter, React Native’e göre daha iyi sonuç vermiştir. Bellek kullanımında ise sonuç React Native lehinedir. Gerçekleştirilen diğer testlerin aksine Enerji tüketimi değerlerinde bu test de IOS özelinde farklılık söz konusudur. IOS işletim sisteminde XCode kategorilemesine göre Flutter yüksek kategorisinde enerji tüketimi gerçekleştirirken React Native çok yüksek kategorisinde enerji tüketimi gerçekleştirmiştir. Android platformunda da ise Android Studio kategorilemesi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde iki çerçeveninde düşük kategorisinde değerlendirilmektedir.

Çizelge Error! No text of specified style in document..18. Test 5: Dosya Yazma/Okuma Sonuçları

İşlem	Yazma Süresi (ms)				Okuma Süresi (ms)			
	IOS		Android		IOS		Android	
Platform	IOS		Android		IOS		Android	
Çerçeve	Flutter	React Native	Flutter	React Native	Flutter	React Native	Flutter	React Native

1 MB Dosya	18	405	37	1780	3	816	12	3145
10 MB Dosya	31	4473	99	14925	12	9092	40	26543
25 MB Dosya	79	11874	263	37000	23	23585	84	66648

Dosya Yazma/Okuma testlerinden elde edilen veriler Çizelge Error! No text of specified style in document..18'de yer almaktadır. Bildiri içerisindeki diğer testlerde ölçümlenen parametrelere nazaran, bu test kapsamında uygulamaların cihaza dosya yazma ve cihazdan dosya okuma süreleri üzerinden değerlendirme gerçekleştirilecektir. Bunun temel sebebi Flutter ile hazırlanan uygulamanın işlem sürelerinin çok kısa olması nedeniyle diğer metriklerin karşılaştırılması için yeterli veri toplanamıştır. Elde edilen dosya yazma ve okuma verileri incelendiğinde uygulamaların React Native'in cihazdan dosya okuması için geçen süre yazmak için harcadığı sürenin iki katına yakındır. Flutter'da ise cihazdan dosya okuma işleminin süresi, yazma işleminin süresinin ortalama olarak baktığımızda yaklaşık 3,5 – 4 katına çıkmıştır. Tüm sonuçlar göz önüne alındığında Flutter'ın React Native'e göre işlemleri çok daha hızlı gerçekleştirdiği görülmüştür.

Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çizelge Error! No text of specified style in document..19. Test Sonuçları Özeti

Testler	Google Haritalar		Kamera		Konum		İvmeölçer	
	IOS	Android	IOS	Android	IOS	Android	IOS	Android
CPU Kullanımı	RN	RN	RN	-	RN	RN	F	F
RAM Kullanımı	RN	F	RN	F	RN	F	F	F
Bellek Kullanımı	RN	-	RN	RN	RN	RN	RN	RN
Enerji Tüketimi	-	-	-	-	-	-	F	-
Grafik Kullanımı	F	RN	RN	RN	RN	RN	RN	F

Her iki platformda, her iki çerçeve ile 5'er farklı tipte popüler olarak kullanılan uygulama özelliklerinin demo uygulaması hazırlanarak yapılan testlerden elde edilen verilerin karşılaştırılması tamamlanmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda Dosya Yazma/Okuma testi dışındaki testlerde yapılan karşılaştırmalar sonucunda daha iyi performans değerlerine sahip çapraz platform yazılım geliştirme çerçevesinin gösterildiği özet tablosu Çizelge Error! No text of specified style in document..19'da yer almaktadır.

Dosya Yazma ve Okuma testleri değerlendirildiğinde Flutter'ın, React Native'in dosya yazma ve okuma sürelerine olan karşılaştırmada çok daha kısa sürelere ulaşmıştır. Flutter bu test özelinde işlemleri gerçekleştirme hızı nedeniyle diğer performans metriklerinde hesaplanabilir bir veri elde edilemediği göz önünde bulundurulduğunda, cihaz kaynaklarını çok daha kısa süre kullandığı sonucuna varılmıştır. Varılan bu sonuç ile beraber Flutter ile geliştirilen uygulamanın, React Native ile geliştirilen uygulamaya göre bu test kapsamında çok daha iyi performans verdiği söylenebilir. Bunun nedeninin React Native'e nazaran Flutter mimarisinin kodlarını direkt olarak yerel platformda derleyecek şekilde uygulamasını oluşturması olduğu düşünülebilir. Diğer yandan bu test kapsamında gerçekleştirilen çalışma diğer testlerden farklı olarak sadece dosya yazma ve okuma işlemi ile yerel platform cihazlarıyla iletişimin bir kısmını test etmek amaçlı yapılmıştır.

Gerçekleştirilen diğer testlerin senaryolarında yerel platform ile kurulan iletişim sonrası uygulama içinde bu kaynaktan alınan verilerden yararlanılarak veya kaynağı direkt olarak uygulamada kullanarak gerçek hayatta kullanılan uygulamalar simüle edilmeye çalışılmıştır. Diğer dört test sonuçlarının yer aldığı Çizelge Error! No text of specified style in document..19 incelendiğinde Bellek kullanımında sonuçlarında, Android platformunda gerçekleşen Google Haritalar test senaryosu dışında React Native tüm testlerde Flutter'a göre daha iyi performans göstermiştir. Bellek kullanımının ayrılan kalıcı yeri temsil ettiği göz önünde bulundurulduğunda, bu farkın nedenlerinden birinde, çerçeveler arasındaki paket yönetimi farkı olduğu düşünülebilir. Flutter paketlerini uygulamaya derleme anında dahil ederken React Native ise çalışma zamanında paketlerini uygulamaya dahil eder. Bu durumda derleme anından itibaren cihazdaki uygulamaya ayrılan kalıcı yerin daha fazla olmasına neden olabilir.

Çizelge Error! No text of specified style in document..19'daki değerler incelenmeye devam edildiğinde, Grafik kullanımı ve CPU kullanımı metriklerinde, her iki platformda gerçekleştirilen dört farklı test senaryosunda React Native elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında sonuçların %75 inde Flutter'a göre daha iyi sonuç vermektedir. Grafik kullanımının ve İşlemci Kullanımının, cihazdaki işlem kapasitesinin kullanımını ifade ettiği düşünüldüğünde, React Native ile geliştirilen bir mobil uygulamanın cihazdaki işlem ve grafik kapasitesini Flutter'a göre daha verimli kullandığı söylenebilir. Bunun metriklerdeki fark ise React Native'in yeni mimari yapısı olarak cihazdaki kaynak ve yerel kodlar ile iletişim için kullandığı TurboModules ve kullanıcı arayüzünü oluşturmak için kullandığı Fabric ile açıklanabilir.

RAM kullanımı metriği için elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise Flutter ve React Native'in gerçekleştirilen dördüncü test senaryosunda Flutter, React Native ile yapılan kıyaslamada daha iyi sonuçlar vermiştir. Dördüncü test senaryosu olan İvmeölçer testi sonuçları değerlendirilirken ilk grafik yüklenmesinin göz önünde bulundurulmadığı ve asıl iş yükünün sensörden veri elde etmek olduğu göz önünde bulundurulduğunda, Flutter'ın paketlerini yerel kodlarda derlemesi geçici ayrılan yer özelinde kendisine avantaj sağladığı söylenebilir. Diğer 3 test içinse yapılan karşılaştırmada durum eşit gözükmektedir. Fakat Çizelge Error! No text of specified style in document..19'da da gözlemlenebileceği gibi, IOS işletim sisteminde React Native daha iyi sonuç verirken, Android işletim sisteminde Flutter daha iyi sonuçlar vermiştir. React Native'in ilk çıktığında sadece IOS için çıkmış olması, Flutter'ın Google tarafından

geliştirilmiş olması gibi genel bilgilerden elde edeceğimiz varsayımlarla bu sonucun beklenebileceğini söyleyebiliriz.

Enerji tüketimi metriğindeki değerlere bakıldığında ise her iki çerçevede Çizelge Error! No text of specified style in document..19’da yer alan sekiz farklı sonucun yedisinde eşit sonuç vermiştir. IOS platformunda gerçekleştirilen ivmeölçer testi diğer sonuçlardan farklı olarak Flutter’ın daha iyi bir enerji tüketimi gerçekleştirdiğini söylemektedir. Tüm bunlar senaryolar göz önüne alındığında XCode ve Android Studio’dan elde edilen bu verilerin yetersiz olduğu, enerji tüketimi karşılaştırması için daha kapsamlı araçlar ve senaryolar uygulanması gerektiği sonucuna varılabilir.

Platformlar özelinde değerlendirme yaptığımızda ise IOS platformunda gerçekleştirilen dört test senaryosundan elde edilen sonuçlara göre enerji tüketimi hariç tutulduğunda React Native minimum sonuçların %75’inde daha iyi sonuç göstermiştir. Toplamda platformalar özelinde enerji tüketimi dışındaki 16 metrik karşılaştırıldığında IOS işletim sisteminde 16 sonuçtan 13 ünde React Native Flutter’a göre daha iyi performans sonuçları verirken, Android işletim sisteminde değerlendirildiğinde React Native lehine ortaya çıkan sonuç sayısı 8 iken, Flutter’ın daha iyi olduğu performans karşılaştırma sonucu sayısı 6’dır.

GENEL DEĞERLENDİRME

Çalışma kapsamında popüler çapraz platform yazılım geliştirme çerçevelerinden olan React Native ve Flutter çerçeveleri, hakkında genel bilgiler verilmiş, çerçevelerin mimari yapılarına değinilmiştir. İki çerçevenin cihazların yerel donanım kaynaklarıyla birlikte çalıştığı senaryolar altındaki performansları karşılaştırılmış ve sonuçlar ortaya konmuştur. Simüle edilen senaryolarda, birçok özelliği barındıran uygulamalar için React Native performans verileri öne çıkmıştır. Flutter’ın da direkt yerel donanım erişimi içeren senaryolarda daha iyi performans gösterdiği senaryolar mevcuttur.

Her iki çerçevede çapraz platform uygulama geliştirmeye olanak tanımakla birlikte mimari açıdan farklılıklar barındırmaktadır. Bu farklılıklar, farklı amaçlar doğrultusunda geliştirilecek uygulamalar için de tercih sebebi olabilmektedir. Aynı zamanda her iki platformda geliştiricisi ve topluluk tarafından desteklenmektedir. Flutter birçok özellik için kendi içinde kütüphane barındırırken, React Native’in kendisi temel ve kısıtlı özelliği kendi içinde barındırırken topluluğu tarafından oluşturup geliştirilen yardımcı kütüphaneler ile özellikleri desteklemektedir. Flutter Dart yazılım dili ile geliştirilmiştir. Dart yazılım dili sadece Flutter geliştirmesinde kullanıldığı için olası Dart kaynaklı sorunlarda React Native’e göre daha az kaynak bulunması söz konusu olabilir. React Native’in geliştirildiği JavaScript yazılım dili birçok web, önyüz ve arka yüz geliştirmelerde kullanılan yaygın bir yazılım dilidir. Bu da olası sorunlarda daha fazla kaynağa olanak tanımaktadır.

Sonuçlar değerlendirildiğinde hem React Native’in hem de Flutter çerçevesinin birbirine göre daha iyi performans verdiği alanlar mevcuttur. Her iki çerçevenin birbirinden daha iyi olduğu yazılım geliştirme süreçlerine dair alanlar mevcuttur. Tüm bunlar değerlendirildiğinde,

projenin planlanması aşamasında geliştirici veya yatırımcı tarafından projenin ihtiyaçlarına göre verilecek çerçeve kararına çalışmamızın katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Abrahamsson, R. ve Berntsen, D., *Comparing Modifiability of React Native and Two Native Codebases*, Yüksek Lisans Tezi, Linköping University, Department of Computer and Information Science, Software and Systems, Linköping, 2017.

Alpert, S. (2018). *State of React Native 2018*. <https://reactnative.dev/blog/2018/06/14/state-of-react-native-2018> (Erişim tarihi: 24 Kasım 2024).

Android Sürümleri Hakkında. (2024). <https://developer.android.com/about/versions?hl=tr> (Erişim tarihi: 19 Ekim 2024).

Ardito, L., Coppola, R., Malnati, G. ve Torchiano, M., *Effectiveness of Kotlin vs. Java in Android App Development Tasks*, *Information and Software Technology*, 127, 106374, 2020.

Beshir, A., *Cross-Platform Development with React Native*, Lisans Tezi, Uppsala University, Department of Information Technology, Uppsala, 2016.

Dean, B. (2024). *Smartphone Usage Statistics 2024*. <https://backlinko.com/smartphone-usage-statistics> (Erişim tarihi: 17 Ekim 2024).

Flutter Architectural Overview. (2024). <https://docs.flutter.dev/resources/architectural-overview> (Erişim tarihi: 14 Aralık 2024).

Google/Institution. (n.d.). *React Native, Flutter, NativeScript, Xamarin Trends Comparison*, <https://trends.google.com/trends/explore?cat=31&date=today%205-y&q=React%20Native,Flutter,NativeScript,Xamarin> (Erişim tarihi: 19 Ekim 2024).

Gülcüoğlu, E., Ustun, A. B. ve Seyhan, N., *Comparison of Flutter and React Native Platforms, İnternet Uygulamaları ve Yönetimi Dergisi*, 12(2), 129-143, 2021.

Gut, K., Skublewska-Paszkowska, M., Łukasik, E. ve Smolka, J., *Comparison of Programming Languages on the iOS Platform in Terms of Performance, Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 7(3), 33-36, 2017.

Hansson, N. ve Vidhall, T., *Effects on Performance and Usability for Cross-Platform Application Development Using React Native*, Yüksek Lisans Tezi, Linköping University, Department of Computer and Information Science, Human-Centered Systems, Linköping, 2016.

Hu, X., *Comparing Android Platform Application Rendering Performance: Native Development vs React Native*, Lisans Tezi, University of Skövde, School of Informatics, Skövde, 2023.

Kumcağız, H., Terzi, Ö., Koç, B. ve Terzi, M., *Üniversite Öğrencilerinde Akıllı Telefon Bağımlılığı, İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 9(1), 13-39, 2020.

Leandersson, C., *Evaluating Two Cross-Platform Frameworks Using Cognitive Dimensions*, Yüksek Lisans Tezi, KTH, School of Electrical Engineering and Computer Science (EECS), Stockholm, 2022.

Nehha. (2024). *React Native New Architecture*. <https://dev.to/hellonehha/react-native-new-architecture-1hao> (Erişim tarihi: 29 Aralık 2024).

Okediran, O. O., Arulogun, O. T., Ganiyu, R. A. ve Oyeleye, C. A., *Mobile Operating Systems and Application Development Platforms: A Survey, International Journal of Advanced Networking and Applications*, 6(1), 2195, 2014.

Overflow, S./Institution. (n.d.). *Stack Overflow Trends for Popular Mobile Frameworks*, <https://trends.stackoverflow.com/?tags=react-native,flutter,xamarin,nativescript,ionic-framework,cocos2d-x,titanium,phonegap-build,sencha-touch,appcelerator,cordova,coronasdk,qt-creator> (Erişim tarihi: 14 Kasım 2024).

Palumbo, D., *The Flutter Framework: Analysis in a Mobile Enterprise Environment*, Doktora Tezi, Politecnico di Torino, Torino, 2021.

React Native Architecture. (2024). <https://reactnative.dev/architecture/landing-page> (Erişim tarihi: 29 Aralık 2024).

Schwermer, P., *Performance Evaluation of Kotlin and Java on Android Runtime*, Yüksek Lisans Tezi, KTH, School of Electrical Engineering and Computer Science (EECS), Stockholm, 2018.

Shah, K., Sinha, H. ve Mishra, P., *Analysis of Cross-Platform Mobile App Development Tools*, 2019 IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT), 1-7, IEEE, Mart 2019.

Slepnev, D., *State Management Approaches in Flutter*, Lisans Tezi, South-Eastern Finland University of Applied Sciences (XAMK), Mikkeli, 2020.

Tashildar, A., Shah, N., Gala, R., Giri, T. ve Chavhan, P., *Application Development Using Flutter, International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 2(8), 1262-1266, 2020.

Tajik, F. ve Lindström, J., *Swift vs React Native: A Performance Comparison for Automatization of Gamification Using QR-Codes*, Lisans Tezi, KTH, School of Electrical Engineering and Computer Science (EECS), Stockholm, 2023.

Verma, N. ve Sambhav, S., *Development of iOS: A Revolutionary Transformation and the Future, International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 11(6), 2020.

Widgets. (2024). <https://docs.flutter.dev/get-started/fundamentals/widgets> (Erişim tarihi: 27 Kasım 2024).

You, D. ve Hu, M., *A Comparative Study of Cross-Platform Mobile Application Development, 12th Annual CITRENZ Conference*, 66, Wellington, New Zealand, 2021.

Zhou, C., *Challenges and Solutions in Cross-Platform Mobile Development: A Qualitative Study of Flutter and React Native*, Yüksek Lisans Tezi, Aalto University, School of Science, Helsinki, 2024.

ÇAPRAZ AKIŞLI NANOFİLTRASYON YÖNTEMİYLE NF90 MEMBRAN KULLANILARAK SERAMİK ENDÜSTRİSİ ATIKSULARINDAN BULANIKLIK GİDERİMİ*10

Kimya Mühendisi, Hatice Özbek¹,

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,

haticeozbek532@gmail.com

ORCID ID:0009-0008-0648-8314

Prof. Dr., Duygu Kavak²,

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,

dbayar@ogu.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-1189-3110

ÖZET

Türkiyede seramik üretimi, işlenmesi ve ihracatı açısından önemli bir konuma sahiptir. Seramik endüstrisi, üretim süreçlerinde büyük miktarda su kullanır ve bu suyun çoğu kirli atık şeklinde çevreye bırakılır. Bu atıkların içerdiği ağır metaller, kullanılan asidik bazik çözeltiler, organik kirleticiler sucul ekosistemlere zarar verebileceği bilinmektedir. Seramik atık sularının insanlar için içme suyu kaynaklarını ve tarım arazilerini kirletebileceğine dair endişeler de bulunmaktadır. Seramik atık suları yüksek bulanıklık içerir. Bu bulanıklık kil, toprak, mineral parçacıkları, kimyasal maddeler ve organik bileşiklerin suyun ışığını geçirmesini engellemesiyle oluşur. Bu nedenle bulanıklık suyun estetik değerini düşürür ve doğal güzelliklerini bozar. Seramik atık sulardan bulanıklık giderimi, suyun kalitesini artırmak, mikroorganizmaları azaltmak ve dezenfeksiyonun etkinliğini sağlamak için yapılır. Bu işlem, halk sağlığını korur ve çevreye zarar vermesini engeller. Nanofiltrasyon (NF) membranları atık su arıtımında önemli bir rol oynamaktadır. Bu membranlar yüksek ayırma hassasiyeti, faz değişimi olmaması, nano gözenek boyutu ve enerji verimliliği ile karakterize edilir. Bu çalışmada, NF90 membran kullanılarak seramik atık sularından bulanıklık giderimi incelenmiştir. Membran deneyleri çapraz akışlı nanofiltrasyon düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Bulanıklık giderim verimi üzerine membran basıncı (4, 6, 8 bar) ve sıcaklık (25°C, 30°C, 35°C) parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmada numunelerin bulanıklık değerleri spektrofotometrik yöntemle ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucunda en yüksek bulanıklık giderimi 25°C ve 8 bar'da %80 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Seramik endüstrisi, atık su, nanofiltrasyon, NF90 membran, bulanıklık.

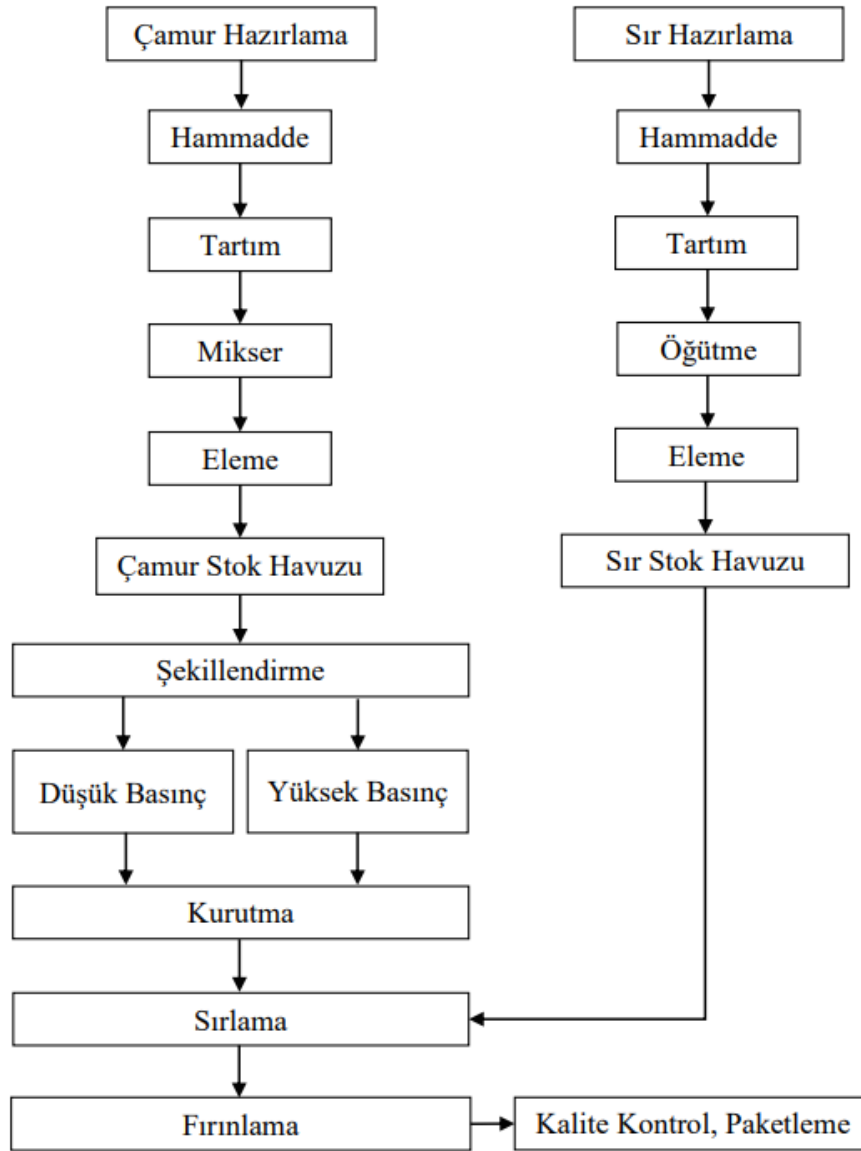
*Bu çalışma Hatice Özbek'in "NF90 Membranı ile Seramik Endüstrisi Atık Suyunun Çapraz Akışlı Nanofiltrasyon Yöntemiyle arıtımı" adlı Yüksek Lisans Tez Çalışması kapsamında hazırlanmıştır.

1. GİRİŞ

Doğal çevre üzerine etki eden olumsuz gelişmeler yaşanabilir bir çevre oluşturulması için önlemler alınması gerekliliğini ortaya koymuştur. Çevreye karşı oluşan farkındalık ve çevrenin korunması, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de temel politika öncelikleri arasına girmiştir. Kalkınma politikalarının belirlenmesinde, sürdürülebilir bir kalkınma ve yaşanabilir bir çevre oluşturmak amacıyla ekolojik dengenin korunması, doğal kaynakların hızla tüketilmesinin önüne geçilmesi, üretilen atıkların çevre ve insan sağlığı için bir tehdit olmaktan çıkarılarak bir girdiye dönüştürülmesi için atık yönetim stratejileri hayata geçirilmiştir (Ersoy ve Özbay, 2023). Sürekli artan insan nüfusunun büyümesi, temiz su talebinin hızla artmasına neden olmuş ve su talebi ile arzı arasındaki fark giderek büyümektedir (Hakami vd., 2020).

Ülkemizde yaygın bir endüstri olan seramik endüstrisi, üretimi sırasında ağır metal içeren yüksek miktarda atık su oluşturmaktadır (Korkmaz vd, 2024). Atıksular arıtılmadan alıcı ortama verildiğinde çevresel problemlere neden olabilmektedir. Üretim sonucunda, oluşan atıksuların doğru yöntemle arıtımı ekonomik ve çevresel açıdan son derece önemlidir (Göksel, 2019). Seramik endüstrisi, atık suyun çoğu sırların ve diğer kaplamaların hazırlanması ve uygulanması için kullanılan tesislerin yıkama işlemlerinden kaynaklanmaktadır (Moliner Salvador vd., 2012).

Organik ve metal olmayan maddelerin birleştirilerek hazırlanması sonrasında, şekillendirilip pişirilerek mukavemet kazandırılan bilimde, teknolojiye ve sanatta kullanılan malzemeye seramik denmektedir (Cineviz, 2024). Seramik üretim prosesi Görsel 1'de verilmiştir.

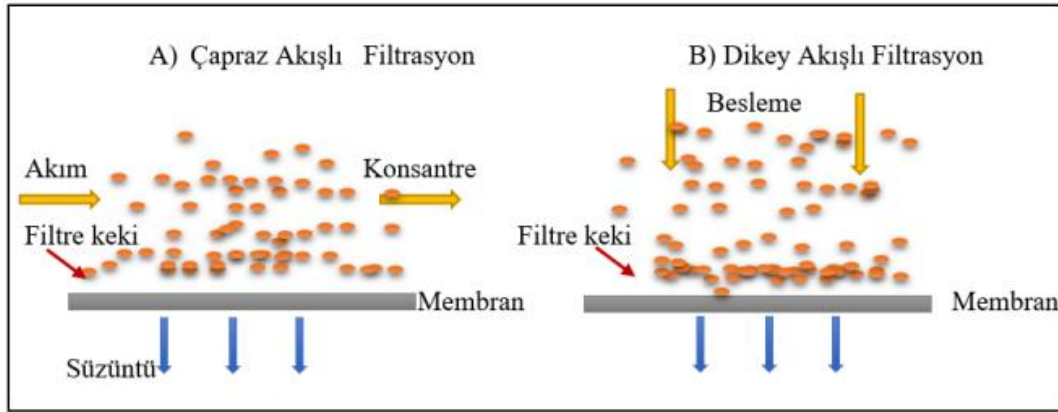


Görsel 1. Seramik üretim prosesi akış şeması (Kızıler, 2017; Gönüllü, 2004)

Bulanıklık, su ve atıksu içerisinde ışığın saçılma ve absorbe olmasına neden olan önemli bir parametredir. Bulanıklığı yüksek olan atıksuların alıcı ortamlara deşarj edilmesi, bu ortamlarda suyun ışığı geçirme kapasitesini düşürerek suyun alt tabakalarında yaşayan canlıları olumsuz yönde etkilemesine sebep olmaktadır. Ülkemizde, bulanıklık atıksular açısından limitleyici bir deşarj parametresi olarak görülmezken, içme suyu açısından değerlendirildiğinde Sağlık Bakanlığı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmeliğine ve TS 266 içme suyu standardına göre içilebilir bir suyun bulanıklığı 5 NTU'yu (FTU) geçmemesi gerekmektedir (Özyonar ve Karagözoğlu, 2012). Atıksuyun bulanıklığı gidermek için koagülasyon, flokülasyon, filtrasyon, ozonlama, UV ışını, aktif karbon filtrasyonu, kum filtrasyonu, çökeltme, membran filtrasyonu, kimyasal arıtma ve elektrokoagülasyon gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Membran teknolojisi, ileri bir su arıtma yöntemidir. Membran süreçleri kullanılarak kirli sulardan iyonların ve moleküllerin seçici olarak uzaklaştırılabileceği gösterilmiştir. İstenilen ayrışmayı sağlamak için uygun membranın seçimi, arıtılacak suyun besleme bileşimi ve ulaşılabilecek arıtma hedefi tarafından belirlenir. Son zamanlarda geliştirilmiş olan nanofiltrasyon (NF), diğer membran süreçleri ile karşılaştırıldığında önemli avantajlar sunmaktadır (Moliner Salvador vd., 2012). Nanofiltrasyon prosesi, kalsiyum ve magnezyum gibi sertlik yapan iyonları giderebilmektedir ve kireç ile yumuşatma veya sodyum klorür zeolit teknolojilerine cazip bir alternatiftir. Nanofiltrasyon prosesi, tekstil sanayi, kağıt sanayi, elektro kaplama endüstrisi, boya endüstrisi ve gıda endüstrisi atıksularının arıtımında da kullanılmaktadır (Özel, 2006).

Membran proseslerde iki farklı filtrasyon modu bulunmaktadır. Bu modler, besleme sıvısı özelliklerine ve membran prosesine bağlı olarak, farklı filtrasyon tiplerinde kullanılabilirler. Çapraz ve dikey akışlı olmak üzere adlandırılan bu akış tipleri Görsel 2'de şematik olarak verilmiştir (Ormancı Acar, 2017).



Görsel 2. Çapraz (A) ve dikey (B) akışlı filtrasyon (Ormancı Acar, 2017; Munir, 2006)

Çapraz akışlı filtrasyon kullanıldığında, membranın çabuk tıkanması engellenir ve daha uzun ömürlü olması sağlanır. Çapraz akış filtrasyon modunda çalışmak, membran üzerinde daha az kek tabakası oluşumuna neden olarak membranın tıkanma olasılığını azaltır. Yüksek havalandırma oranları, membran tıkanma oranlarını düşürür. Düşük sıcaklıklar, membran tıkanmasını artırma potansiyelini artırır, ancak daha iyi membran verimliliği ve daha uzun çalışma süresi sağlar (Bera vd., 2022).

Bu çalışmada, laboratuvar ölçekli çapraz akış membran ünitesinde gerçekleştirilen NF90 membran ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Basınç ve sıcaklık değişkenleri esas alınarak optimum işletme şartları giderim verimi incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada seramik atık suyundan nanofiltrasyon yöntemiyle bulanıklık giderim verimine basınç (4, 6 ve 8 bar) ve sıcaklık (25, 30 ve 35°C) parametrelerin etkisi incelenmiştir. Belirlenen bir çalışma koşulunda 5, 15, 30 ve 45. dakikalarda alınan numunelerin bulanıklık verimleri hesaplanmıştır. Giderim verimlerinin incelenmesi için yapılan bulanıklık analizi yapılmıştır. Böylelikle sıcaklık ve basıncın süzöntü suyunun kalitesine etkisi gözlemlenerek ideal çalışma şartları öngörülmüştür. Çizelge 1.1’de deney parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 1.1 Deney Parametreleri

ANALİZ	DEĞİŞKENLER	DEĞERLER	BİRİM
Bulanıklık Giderim Verimi	Basınç	4-6-8	Bar
	Sıcaklık	25-30-35	°C

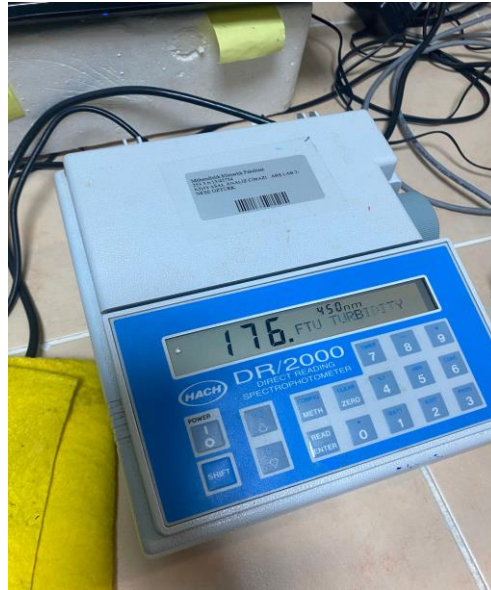
Deneysel Görsel 3’de verilen Sterlich marka çapraz akışlı paslanmaz çelikten yapılmış membran filtrasyon düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Düzenek zararlı kimyasallara dayanıklı malzemeden üretilmiştir. Düzenek içerisinde; süzöntü toplama bölümü, hassas terazi, membran modülü, ısıtıcı, bilgisayar, hidrolik el pompası ve santrifüj pompa yer almaktadır. Membran büyüklüğü 150 cm²’dir. Aşağıda sistem görülmektedir.



Görsel 3. Sistem Görümü

2.1. Membran Sisteminin Çalıştırılması

Çalışmaya başlamadan önce; membran düzeneğindeki safsızlıkların arındırılması için %2 lik zayıf asit içeren yıkama solüsyonu sistemden geçirilir. Yıkama solüsyonunun sistemden arındırılması amacı ile sistemden saf su geçirilir. Membran modüle yerleştirilir. Deneye başlarken bilgisayar açılır, hassas terazi vasıtası ile süzüntü miktarını kaydedecek program çalıştırılır. Kullanılacak atık su içinde membran düzeneğini tıkayacak partiküllerden filtreleme yöntemi ile arındırılır. Atık su besleme tankına beslenir. Deneye başlarken, sisteme elektrik verilmeden önce; hidrolik el pompası 900 Psi'a ayarlanır, membran modülü sıkıştırılır. Gösterge yardım hidrolik el pompasının 900 Psi'a sabitlendiği kontrol edilir. Elektrik mandalı vasıtası ile sisteme elektrik verilir. Isıtıcı çalıştırılır ve belirlenen sıcaklık parametresine ayarlanır. Besleme tankının sıcaklığı ayarlanan sıcaklığa geldiğinde devir ayarı yapılır, vana yardımıyla belirlenen basınç değerine ayarlanılır. Düzenekten gelen ilk süzüntü damlası ile süzüntü miktarını kaydeden program çalıştırılır. Bu program sayesinde süzüntünün tartımı dakika başı bilgisayara kaydedilir. Deneyin başlatılmasından itibaren 5,15,30 ve 45. dakikalarda süzüntüden numune alınır. Ham atık suyun FTU değeri ölçülür ve kaydedilir. Ardından sırası ile alınan numunelerin FTU değerleri taratılır. Cihazdan okunan değerler kaydedilir. Spektrofotometrik cihaz Görsel 4'te gösterilmiştir.



Görsel 4. Spektrofotometrik Cihaz

Deney sırasında kullanılan cihazlar ve kullanım amaçları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Kullanılan Cihazlar

ÇALIŞMADA KULLANILAN EKİPMANLAR	İŞLEVİ
Bilgisayar, Exper	Süzüntü tartım verilerinin kaydedilmesi

Çapraz Akışlı Membran Sistemi, Sterlitech	İçerisine yerleştirilen membran ile atıksu arıtılması
Hidrolik El Pompası, Enerpac	Membran sisteminin sıkıştırılması
Isıtıcı, WiseCircu	Deney sıcaklığının ayarlanması
Saf Su Cihazı	Sistemin yıkanması ve referans değerlerin belirlenmesi
Spektrofotometre, Hach DR 2000	Bulanıklık giderim veriminin ölçülmesi
UV Spektrofotometre, Hach DR 3900	Renk Giderim veriminin ölçülmesi
Hassas Terazı, A&J EJ6100	Birim zamanda süzüntü akısının tartılması
İletkenlik ölçer, Janvey 4310	İletkenlik ölçülmesi
pH Metre, Thermo Scientific	pH ölçülmesi

2.2. Deneyde Kullanılan Atık Su Özellikleri

Bu çalışmada temin edilen atık su Eskişehir’de bir seramik endüstrisi fabrikasından hatların yıkama suyundan alınmıştır. Çizelge 2.2’de seramik atık suyunun ölçülen parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Seramik Atık Suyunun Ölçülen Parametreleri

PARAMETRE	BİRİM	SERAMİK ATIKSU
Askıda Katı Madde (mg/L)	mg/L	596
Maksimum Absorbans A_0 (abs)	abs	2,984
İletkenlik ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	$\mu\text{s}/\text{cm}$	0,947
Bulanıklık (ftu)	ftu	210
pH	pH	7,48

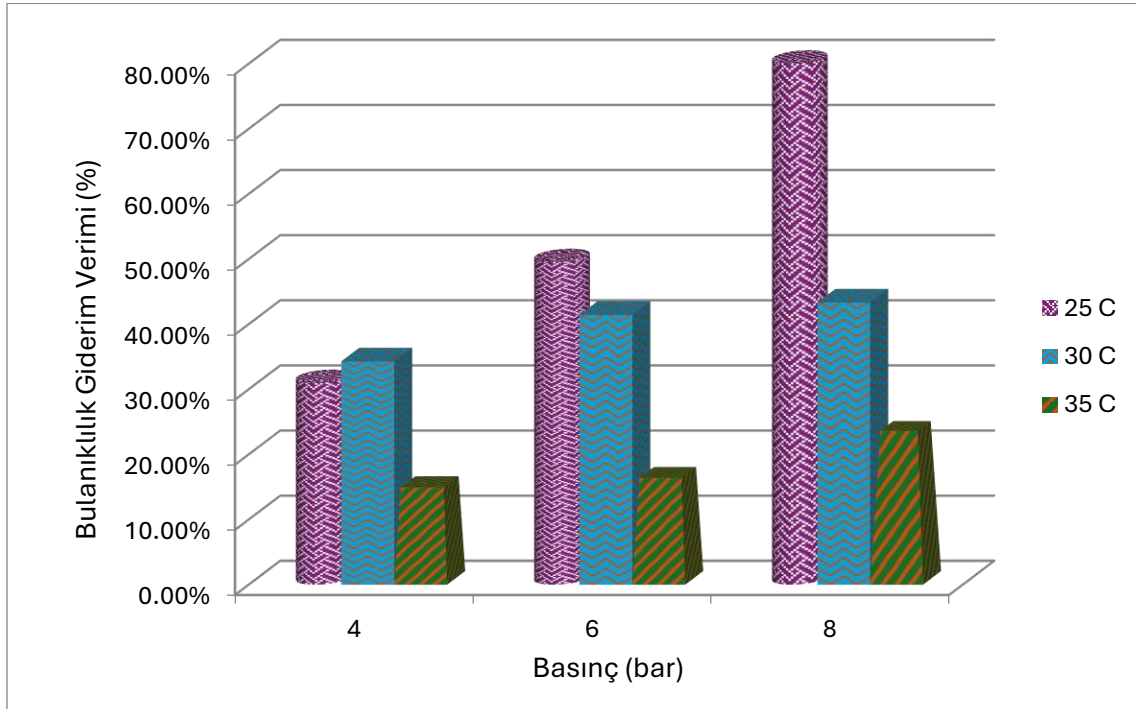
3. SONUÇLAR

Bulanıklık giderim veriminin sıcaklık arttıkça azaldığı, basınç arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir. En yüksek bulanıklık giderim veriminin elde edildiği en uygun koşullar, 25°C sıcaklık ve 8 bar basınç olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda, maksimum bulanıklık giderim verimine ulaşılmıştır. Çizelge 3.1’de bulanıklık giderim verimleri listelenmiş, Grafik 3.1’de bu değerler grafik halinde verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bulanık giderim verimleri (%)

BASINÇ\SICAKLIK	BULANIKLIK GİDERİM VERİMİ (%)		
	25 °C	30 °C	35 °C
4 Bar	30,95	34,29	14,76
6 Bar	49,52	41,43	16,19
8 Bar	80,00	43,33	23,33

Grafik 3.1. Basınç ve sıcaklık değişimiyle bulanık giderim verimleri (%)



Bulanıklık giderim miktarı karşılaştırıldığında, uygun değer 25°C ve 8 bar parametrelerinde 42 FTU olarak ölçülmüştür. Seramik Atık suyun en yüksek bulanıklık giderim verimi %80 sonucuna ulaşılmıştır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME

Seramik atık sularının bulanıklığının giderilmesi, çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir adımdır. Doğru arıtma yönteminin seçimi, fiziksel ve kimyasal parametrelerin dikkate alınarak optimize edilmesi, arıtma sürecinin etkinliğini doğrudan etkiler.

Aynı zamanda arıtma sonrasında elde edilen suyun yeniden kullanımı veya uygun bir şekilde bertaraf edilmesi, doğal kaynakların korunması açısından büyük önem arz eder. Bu bağlamda arıtılan suyun endüstriyel süreçlerde, sulama alanlarında veya yeniden seramik üretiminde geri dönüşüm amaçlı kullanımı sürdürülebilir bir çözüm oluşturur. Bu sayede su kaynaklarının korunması sağlanırken, atık suyun doğrudan doğaya salınımından doğabilecek kirlilik etkileri de en aza indirilmiş olur.

Sonuç olarak, seramik atık sularının bulanıklığının giderilmesi atık su yönetimi, geri dönüşüm, doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir yaklaşım çerçevesinde bakılmalıdır. Doğru yöntemlerin seçilmesi, arıtma süreçlerinin etkin bir şekilde uygulanması ve su yönetiminin planlı bir şekilde yürütülmesi, çevresel etkilerin azaltılması ve doğal su kaynaklarının korunması açısından büyük bir fırsat sunar. Bu bağlamda sanayi, kamu sektörü ve çevresel sürdürülebilirlik odaklı projelerin iş birliği içerisinde hareket etmesi, çözümün daha sürdürülebilir ve etkili bir şekilde hayata geçirilmesini sağlayabilir.

Yapılan deneyler sonucunda seramik endüstrisinden alınan atık suyun arıtımı NF90 membranı bu analiz için uygun bir membrandır sonucuna ulaşılabilir. Çapraz akışlı membran sistemleri, yüksek verimlilik, düşük tıkanma riski ve uzun ömürlü performans sunarak çeşitli endüstriyel uygulamalarda önemli bir rol oynar ve sürdürülebilir çözümler sunar.

KAYNAKÇA

- Bera, S. P., Godhaniya, M., & Kothari, C. (2022). [Atık su arıtımı için yeni ve gelişmiş membran teknolojisi: Bir gözden geçirme. *Temel Mikrobiyoloji Dergisi*], 62(3-4), 245-259.
- Cineviz, M. (2024). *Seramik Üretim Süreçlerinin Sürdürülebilirlik Kapsamında İncelenmesi ve Dönüşümünün İmkanları*, (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- Ersoy, Ö., & Özbay, M. (2023). *Marmara Bölgesinde Bulunan Organize Sanayi Bölgelerinin Atık Su Arıtma Tesislerinde Oluşan Arıtma Çamurlarının Enerji Kaynağı Olarak Kullanımının Değerlendirilmesi*. *Bilim Armonisi*, 6(1), 64-81.
- Göksel, Z. (2019). *Çapraz akışlı seramik membran sistemi ile ağaç endüstrisi atıksularının geri kazanımı* (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Hakami, M. W., Alkudhiri, A., Al-Batty, S., Zacharof, M. P., Maddy, J., & Hilal, N. (2020). [Atıksu arıtımında seramik mikrofiltasyon membranları: filtasyon davranışı, kirlenme ve önleme. *Membranlar*], 10(9), 248.

Kızılar, B. (2017). Seramik tübüler MF-UF-NF membran modüllerinin mikro/nanotasarımı ve seramik endüstrileri atıksu yönetiminde kullanımlarının araştırılması (Master's thesis, Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Korkmaz, F., & atak, E. Seramik Atık Suyunun Bazı Solanaceae Familyası üyelerinde çimlenme ve Bitki Gelişimine Etkileri. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(06), 1260-1266.

Moliner Salvador, R., Deratani, A., Palmeri, J., & Snchez-Vilches, E. (2012). [Seramik endüstrisi atıksu arıtımı için nanofiltrasyon membran teknolojisinin kullanımı].

Munir, A., 2006, [Dead end membran filtrasyonu, evre Mühendisliğinde Laboratuvar Fizibilite alışmaları], 1-33.

Ormancı Acar, T. (2017). T. Nanofiltrasyon membranlarının üretimi ve tekstil endüstrisinde uygulanması.

Özel, D. A. (2006). Türkiye’de ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemleri ile içme ve kullanma suyu üretiminin maliyet analizi.

NANOFİLTRASYON YÖNTEMİYLE SIVI ORGANİK YARASA GÜBRESİ ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNDANASKIDA KATI MADDE GİDERİMİ§§§

Kimya Mühendisi, Aligismat Ibrahimzade¹

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

aligismat.ibrahimzada@gmail.com

ORCID ID:0009-0004-1406-1493

Prof. Dr., Duygu Kavak²

²EskişehirOsmangaziÜniversitesi

dbayar@ogu.edu.tr

ORCID ID:0000-0002-1189-3110

ÖZET

Sıvı organik gübreler her türlü tarla ve bahçe bitkilerinde, sera, çiçek ve meyve ağaçlarında; kök, yaprak ve ürün gelişiminde kullanılmaktadır. Sıvı organik gübreler konsantre şekilde su, inorganik maddeler, hüyük ve fülvik asitleri içerecek şekilde üretilerek piyasaya sunulmaktadır. Sıvı organik gübreler genellikle sanayi bölgelerinde yukarıda ifade edilen maddeler kullanılarak üretilmekte olup, bu gübrelerin üretim işlemleri sonucunda atıksular oluşmaktadır. Askıda katı maddeler (AKM), özellikle gübre endüstrisinde atıksu arıtımında önemli bir endişe kaynağıdır. Bunlar, atıksularda bulunabilen küçük parçacık kirleticilerdir ve arıtma prosesinde verimliliğin azalması, su berraklığının azalması, oksijenin tükenmesi, zararlı bakterilerin barındırılması, boru ve filtrelerin tıkanması gibi birçok soruna neden olabilir. Atıksuyu belediye kanalizasyonlarına veya su yollarına boşaltan endüstriler, atıksudaki AKM seviyelerine ilişkin katı düzenlemelerle karşı karşıyadır. Bu düzenlemelere uymak için endüstrilerin bir atıksu ön arıtma veya bertaraf programı uygulaması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı AKM içeren sıvı organik yarası gübre üretim atık suyunun çapraz akışlı nanofiltrasyon yöntemiyle AKM giderim veriminin incelenmesidir. Deneylerde NF270 ticari isimli nanofiltrasyon polimerik membran kullanılmıştır. Çeşitli sıcaklıklarda (25°C, 30°C) ve basınçlarda (4 bar, 6 bar ve 8 bar) gerçekleştirilen deneylerde, bu parametrelerin AKM giderim verimine olan etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda en yüksek AKM giderim verimi 30°C ve 8 bar'da %99.97 olarak bulunmuştur. Yüksek AKM giderim verimine ve kullanıma uygunluğuna bakıldığında sıvı organik yarası gübre üretim atıksuyu için AKM gideriminde NF270 membran ile çapraz akışlı nanofiltrasyon yöntemi amaca uygundur.

Anahtar Kelimeler: Sıvı organik yarası gübresi endüstrisi, Nanofiltrasyon, NF270 membran, Askıda katı madde

*Bu çalışma Aligismat Ibrahimzade'nin "NF270 Membranı ile Sıvı Organik Yarası Gübresi Endüstrisi Atık Suyunun Çapraz Akışlı Nanofiltrasyon Yöntemiyle arıtımı" adlı Yüksek Lisans Tez Çalışması kapsamında hazırlanmıştır.

1. GİRİŞ

Kaynakların, suyun ve arıtmanın eşitsiz dağılımı nedeniyle su kıtlığı, 21.yüzyılın en önemli çevresel zorluklarından biridir ve önümüzdeki on yıllarda muhtemelen en hassas olanlardan biri haline gelecektir. Tüm canlılar, değerli bir kaynak olan suya ihtiyaç duyar. Ancak, su kaynaklarımız, tehlikeli derecede yüksek su kirliliği seviyelerine neden olan hızlı kentleşme, endüstrileşme ve nüfus artışı nedeniyle büyük bir baskı altındadır [1].

Endüstriyel atık su, çeşitli endüstriyel işlemlerden salınan, askıda ve çözünmüş maddeler içeren sudur. Kullanılan endüstri türü ve fabrika türü, endüstriyel atık suda bulunan kirleticilerin türünü belirler [2].

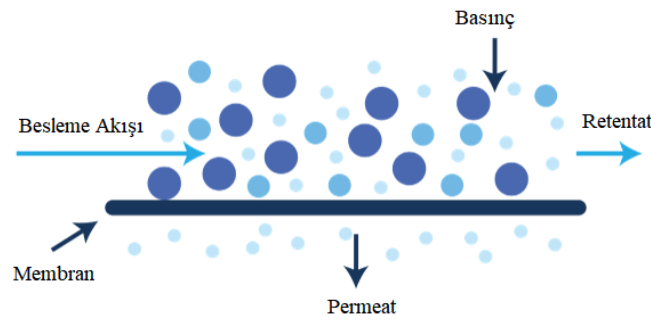
Gübre kullanımı, çiftçilerin artan bitki verimi elde etmesinde önemli bir rol oynar. Ülkemiz, geleneksel tarımda her yıl ortalama 6 milyon ton kimyasal gübre kullanmaktadır [3]. Yıllar itibariyle üreticilerimizin bilinçsiz kimyasal gübre kullanımı, topraktaki organik madde içeriğinin zamanla azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için, organik gübreler önemli bir role sahiptir. Topraklarımızdaki organik madde ve besin elementleri eksikliğini gidermek için, daha az masraflı olduğundan dolayı çiftlik gübresi yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat çiftlik gübresinin uygulamasında yaşanan sorunlar diğer organik gübrelerin kullanımını arttırmaktadır. Son yıllarda sağlıklı besin üretiminin önem kazanmasıyla organik üretim artmış, bu da organik gübre ihtiyacını doğurmuştur. Organik gübreler içinde yer alan yarasa gübresi (bat guano), tamamen doğal ve özgür ortamlarda yaşayan ve kendi seçtikleri doğal yiyeceklerle beslenen yarasaların buldukları mağaralardan elde edilen çok zengin bir bitki besinidir. Yarasa gübresinin bileşiminde; organik madde yanında N, P, K, Ca, Mg, Al, Fe ve S gibi bitki besin elementleri bulunmaktadır. Yarasa gübresinin yetiştiricilikte kullanılması bitki büyümesine olumlu etki yapmaktadır [4-7].

Piyasaya, su, inorganik maddeler, humik ve fulvik asitler kullanılarak yapılan konsantre sıvı organik yarasa gübreleri tedarik edilmektedir. Amaçlanan kullanımlarına göre seyreltilir ve bitkilere doğru zamanda ve doğru şekilde uygulanırlar. Atık su, genellikle yukarıda listelenen malzemeleri kullanarak endüstriyel bölgelerde yapılan sıvı organik yarasa gübrelerinin üretim prosedürlerinin bir sonucu olarak oluşur [8]. Bu atık sular, sıvı gübre dolun tesislerinde kullanılan prosedürlerin yanı sıra sıvı gübre oluşturmak için kullanılan reaktörlerin temizlenmesinden kaynaklanmaktadır. Sıvı organik yarasa gübresi üretiminden kaynaklanan atık su koyu kahverengi bir renge sahiptir ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam organik karbon (TOK), toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) gibi kirleticiler açısından zengindir [9]. Bu kirleticilerin arıtılmadan çevreye salınması imkansızdır çünkü bunlar sıvı organik gübrelerden kaynaklanan atık sularda mevcuttur. Yüzeysel su kaynakları KOİ, TOK, TP ve TN nedeniyle ötrofik hale gelir. Yüksek organik içerikleri ve koyu kahverengi renkleri nedeniyle bu atık sulardaki humik ve fulvik asitler, su kaynaklarında çözünmüş oksijen konsantrasyonunun azalması, fotosentetik aktivitenin engellenmesi ve anaerobik koşullar gibi olumsuz sorunlara yol açar. Bu olumsuz etkilerden dolayı sıvı gübre üretim atıksuları çevresel yasal sınırlamalar ve doğal hayatın korunması için deşarj edilmeden önce arıtılması gerekmektedir.

TSS, toplam askıda katı madde anlamına gelir ve 2 mikronu aşan su kaynaklı parçacıkları ifade eder. Öte yandan, 2 mikrondan küçük herhangi bir parçacık, toplam çözünmüş katı madde (TDS) olarak kabul edilir. Toplam askıda katı maddelerin çoğunluğu inorganik maddelerden oluşur; ancak algler ve bakteriler de TSS olarak kabul edilebilir. TSS, kum, tortu ve plankton dahil olmak üzere suda yüzen veya "askıda kalan" her şey olabilir. Bazı su kaynakları çürüten bitkiler veya hayvanlarla kirlendiğinde, suya salınan organik parçacıklar genellikle askıda katı maddelerdir. Bazı tortular su kaynağının dibine çökerken, diğer TSS'ler suyun yüzeyinde yüzer veya ikisinin arasında bir yerde asılı kalır. TSS suyun berraklığını etkiler, bu nedenle bir su kaynağının TSS içeriği ne kadar yüksekse, o kadar az berrak olur [10].

Membran prosesler, çeşitli monovalent ve iki değerli iyonları çözülden uzaklaştıran ve sudaki tuzluluğu azaltan [11], özellikle inorganik ve organik mikrokirleticilerin giderimi için iyi performans gösteren teknolojilerdir.

Çapraz akışlı filtrasyon (CFF), teğetsel akışlı filtrasyon (TFF) olarak da bilinir, besleme solüsyonunun filtrenin yüzeyi boyunca teğetsel olarak geçtiği bir filtrasyon tekniğidir. Besleme akışının bir kısmı membrandan geçerken geri kalanı konsantre olarak sistemden akmaya devam eder (bkz. Görsel 1.).



Görsel 1. Çapraz akış prensipli membran sistemi [12].

Membran yüzeyine yönlendirilen solüsyona besleme denir. Membrandan geçen solüsyona permeat denir. Membran yüzeyi boyunca geçip besleme rezervuarına geri dönen solüsyona konsantre veya retentat denir. Bu solüsyon genellikle besleme rezervuarına geri pompalanır ve tekrar dolaştırılır [12].

Bu çalışmanın amacı AKM içeren sıvı organik yarıya gübresi üretim atık suyunun çapraz akışlı nanofiltrasyon yöntemiyle AKM giderim veriminin incelenmesidir. Sıvı organik yarıya gübresi atıksuyu yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde, atık suyun arıtımı için nanofiltrasyon yöntemi, membran prosesi ile çalışmaya uygun olduğu gözlenmiştir. Arıtım işleminde ise laboratuvar ölçekli membran filtrasyon modülleri ve endüstriyel atık sulara uygun ticari nanofiltrasyon membranı NF270 tercih edilmiştir. Çeşitli sıcaklıklarda (25°C, 30°C) ve basınçlarda (4 bar, 6 bar ve 8 bar) gerçekleştirilen deneylerde, bu parametrelerin AKM giderim verimine olan etkileri incelenmiştir. Deneylerdeki sıcaklık ve basıncın askıda katı madde giderimindeki verimi üzerine etkisi araştırılmış, sıvı organik yarıya gübresi endüstrisi için optimum çalışma koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

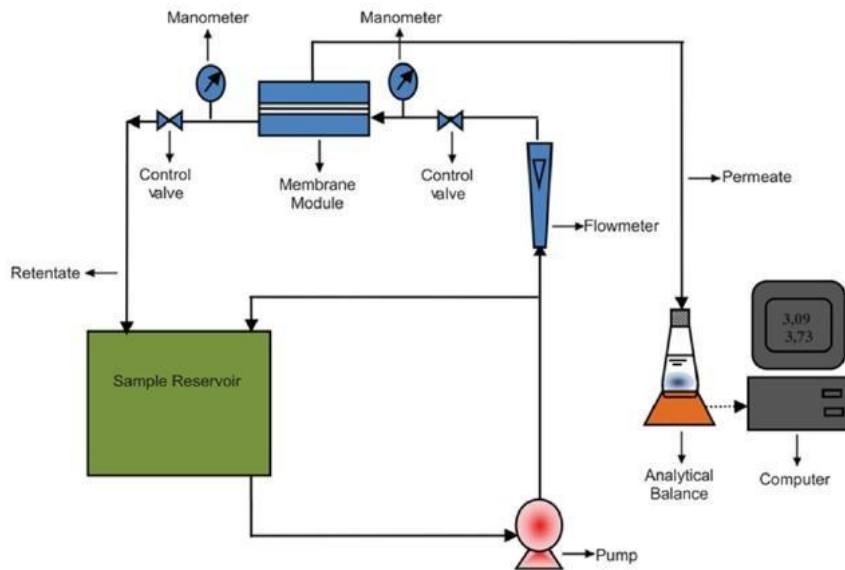
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada sıvı organik yarasa gübresiendüstrisi atık suyunun nanofiltrasyon yöntemiyle sıcaklık (25 °C ve 30 °C) ve basınç (4 bar, 6 bar ve 8 bar) parametrelerinde, askıda katı madde giderim verimi incelenmiştir. 2 farklı sıcaklık ve 3 farklı basınç için dakikada bir, 45 dakikaya kadar ölçümleri kaydedilmiştir. 5,15,30 ve 45 dakikalarda alınan örneklerin (numune) ölçümleri yapılarak askıda katı madde giderimi verimleri hesaplanmıştır. Çizelge 1’de deney parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge1.NanofiltrasyonDeneyParametreleri

ANALİZ	DEĞİŞKENLER	DEĞERLER	BİRİM
Askıda Katı Madde Giderim Verimi (%)	BASINÇ	4, 6 ve 8	Bar
	SICAKLIK	25 ve 30	°C

Çalışmalar sırasında Görsel 2’de verilen Sterlich marka çapraz akışlı membran filtrasyon düzeneği kullanılmıştır. Membran filtrasyon düzeneği paslanmaz çelik malzemesi ile üretilmiş olup agresif/korozif kimyasallara dayanıklı malzemeden üretilmiştir. Düzenek membran modülü, süzüntü toplama bölümü, santrifüj pompa, hassas terazi, bilgisayar, ısıtıcı ve hidrolik el pompasından oluşmaktadır. Düzenekte yer alan membran modülüne takılabilecek membranın etkin yüzey alanı 150 cm²’dir.



Görsel 2. Çapraz akış prensipli membran sistemi

2.1. Düzeneğin Çalıştırılması

Deneyin ilk aşaması olarak membran düzeneği içerisindeki safsızlıkları arındırmak amacı ile %2'lik HCl asit içeren yıkama solüsyonu sistemden geçirilir. Sonrasında ise asit içeren yıkama solüsyonunun sistemden arındırılması amacı ile sistemden safsu geçirilir. Membran, düzeneğe uygun ölçülerde modüle yerleştirilir.

Deneye başlarken bilgisayar ve çapraz akışlı filtrasyon sisteminin ilgili programı çalıştırılır. Membran mekanizmasını tıkayabilecek kirletici maddelerin atık sudan uzaklaştırılması için filtrleme yöntemi ile arındırılır. Kullanılacak atıksu besleme tankına beslenir.

Deneye başlarken, sisteme elektrik vermeden önce; Hidrolik el pompası 900 Psi'ye ayarlanmıştır, membran modülü sıkıştırılmıştır. Gösterge destekli hidrolik el pompasının 900 Psi'ye sabitlendiği kontrol edilir. Sisteme elektrik mandalı aracılığıyla elektrik sağlanır. Isıtıcı çalıştırılır ve belirlenen sıcaklık parametresine ayarlanır. Besleme tankının sıcaklığı ayarlanan sıcaklığa ulaştığında devir ayarı yapılır ve vana yardımıyla basınç belirlenen basınç değerine ayarlanır. Düzenekten hassas terazi üzerindeki behere düşen ilk su damlası ile bilgisayar üzerinden program çalıştırılmıştır. Bilgisayar program ile her bir dakikada süzüntü miktarı kaydedilmiştir. Numuneler 5,15,30 ve 45. dakikalarda alınmıştır. Uygulanan bu işlem deney parametreleri olan her sıcaklık ve basınçta tekrar edilmiştir.

Askıda katı madde giderim veriminin hesaplanması için ham atıksu UV Spektrofotometrik cihaza yerleştirilir ve değer kaydedilir, daha sonra tüm numunelerde de ölçüm yapılır ve sonuçlar kaydedilir. Spektrofotometrik cihaz Görsel 3'de gösterilmiştir.

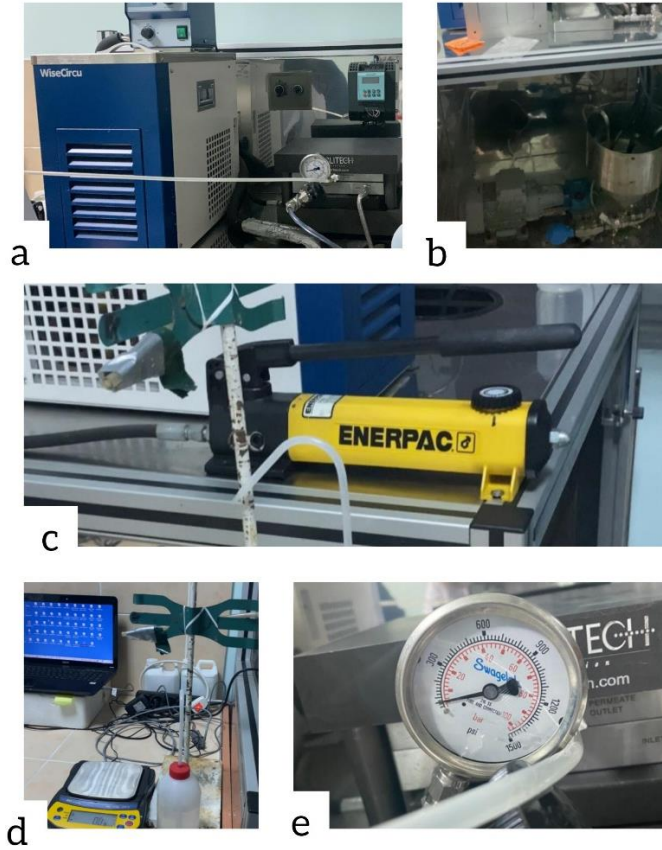


Görsel 3. UV Spektrofotometresi, Hach Lange DR 3900

Deneyde kullanılan ekipmanlar ve işlevi Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Deneyde kullanılan ekipmanlar ve işlevi

Deneyde Kullanılan Ekipmanlar	İşlevi
Bilgisayar, Exper	Süzüntü tartım verilerinin kaydedilmesi
Çapraz Akışlı Membran Sistemi, Sterlitech	Nanofiltrasyon deneyleri
Hassas Terazı, A&J EJ6100	Süzüntü akısının miktarı
Hidrolik El Pompası, Enerpac	Membran sisteminin sıkıştırılması
Isıtıcı, WiseCircu	Deney sıcaklığının ayarlanması
İletkenlik Ölçer, Janvey 4310	İletkenlik ölçümü
UV Spektrofotometresi, Hach Lange DR 3900	Askıda katı madde giderim veriminin ölçülmesi



Görsel 4. Sıcaklık göstergesi ve membran kısmı (a), besleme tankı ve pompa (b), hidrolik el pompası (c), hassas terazi ve bilgisayar (d), basınç göstergesi (e)

2.2 Deneyde Kullanılan Membranın Özellikleri

Bu deneysel çalışmada kullanılan membran ince film kompozit (TFC) flat sheet (plaka tipi) nanofiltrasyon membranıdır. Ticari NF270 nanofiltrasyon membran, GE Osmonics ABD firması aracılığıyla tedarik edilmiştir. Hem endüstriyel atık suların arıtımında hem de gıdaendüstrisinde kullanılabilen membranın özellikleri Çizelge 4’de verilmiştir. Sıvı organik yarasa gübresi endüstriyatıksuyunun arıtımı için birer NF270 membranları kullanılmıştır. Her bir atık su için çalışmasında, önceden belirlenmiş çalışma koşullarında yeni membran kullanılmamış, kullanılan membranlar saf su ile temizlenerek, tekrar kullanılmıştır.

Çizelge4.NF270membranınözellikleri (*MWCO:Molekülerayırmasınırı,birimiDalton)

MembranınAdı	NF270
Besleme	Gıda/EndüstriyelAtıkSuyu
Tip	OrganikGidermeYumuşatma
pHAralığı	2-11
MgSO₄Reddetme	%99
GözenekBoyutu/MWCO*	~150Da
Akı(GFD)/PSİ	20/110
Polimer	Poliamid-TFC

2.3 Deneydeki Atık Suyun Özellikleri

Bu çalışmada analiz edilmiş olan atık su Eskişehir’de bulunan sıvı organik yarasa gübresi üreticisi bir firmadan temin edilmiştir. Sıvı organik yarasa gübresi atıksuyunun özellikleri ve ölçülen parametreleri çizelgede verilmiştir. Askıda katı madde giderimi analizi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5’de sıvı organik yarasa gübresi fabrikası atık suyunun ölçülen parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 5. Ham Sıvı Organik Yarasa Gübresi Atık Suyunun ölçülen parametre değerleri

PARAMETRE	BİRİM	SIVI ORGANİK YARASA GÜBRESİ
Askıda Katı Madde	mg/L	4090
Maksimum Absorbans A ₀	abs	5405
İletkenlik	µs/cm	18.81
Bulanıklık	ftu	9700

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Deney Sonuçları

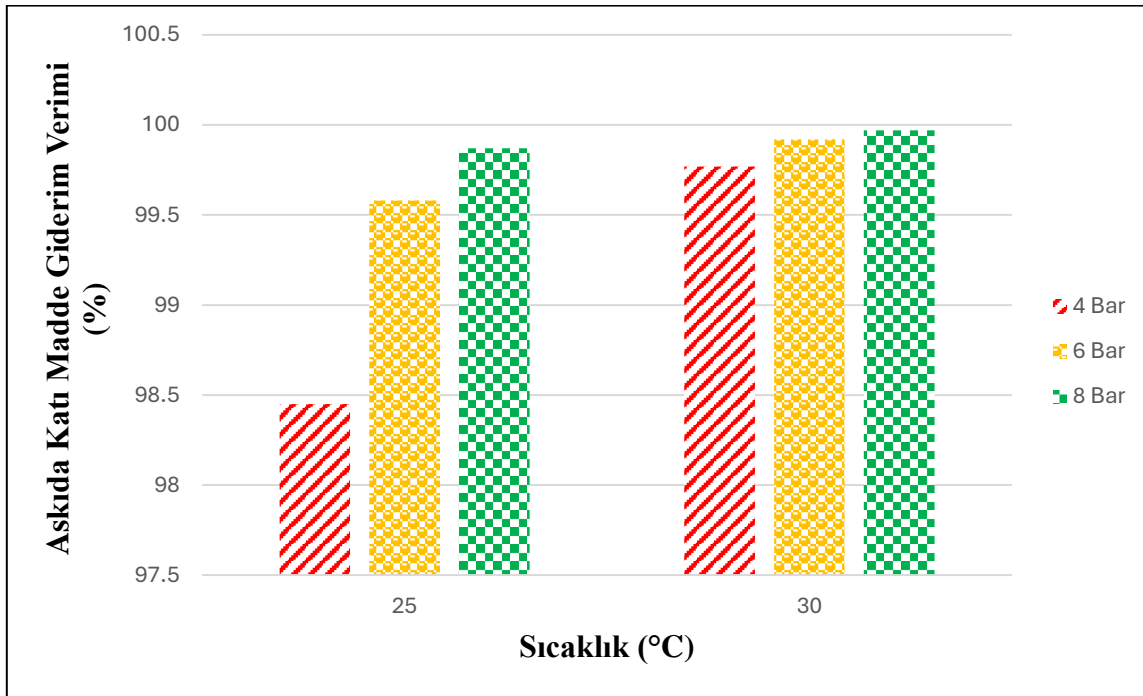
Çalışmada, NF270 membranın, bir Eskişehir sıvı organik yarasa gübresi fabrikasından toplanan sıvı organik yarasa gübresi atıksularının arıtımı için çapraz akış mekanizmalı membran sisteminde kullanımı incelenmiştir. Sıcaklığın deneysel değişkenler üzerindeki etkilerine bakmak için 25°C ve 30°C sıcaklıklarda araştırıldı. Ayrıca basıncın etkilerine bakmak için 4, 6 ve 8 bar basınçlarda da incelenmiştir. Bir UV spektrofotometresi kullanılarak numunelerin ve ham atık suyun dalga boyları, askıda katı madde giderim verimi için etkinliğini belirlemek için analiz edildi.

3.2. Askıda Katı Madde Giderim Verimi Değerleri

Toplanan verilerin analizi üzerine, askıda katı madde giderim veriminin sıcaklık ve basınç artışıyla arttığı tespit edildi. Askıda katı maddelerin uzaklaştırılmasında en iyi etkinliği elde etmek için en uygun parametrelerin 30°C ve 8 bar basınç olduğu bulunmuştur. Bu koşullar altında askıda katı maddelerin uzaklaştırılmasında maksimum verim elde edildi. Çizelge 6'da askıda katı madde giderim verimleri listelenmiş, Grafik 1'de bu değerler grafik halinde verilmiştir.

Çizelge 6. Askıda katı madde giderim verimleri (%)

	Askıda katı madde giderim verimi (%)	
	25°C	30°C
4 bar	98.45	99.77
6 bar	99.58	99.92
8 bar	99.87	99.97



Grafik 1. Askıda katı madde giderim verimleri (%) (25°C ve 30°C)

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu deneysel çalışma, sıvı organik yarıya gübresi üretim tesisinden elde edilen askıda katı madde içeren atıksuyun, çevreye en az zararlıya bertaraf edilmesi ya da yeniden kullanılabilirliğinin araştırılması için atık olarak ayrıldığı noktadan alınarak çapraz akışlı membran filtrasyon sisteminde nanofiltrasyon yöntemiyle arıtımını incelemiştir. Çok yüksek AKM giderimi elde edildiğinden sıvı organik yarıya gübresi endüstrisi atıksuyu için NF270 kullanımı uygundur.

KAYNAKÇA

- [1] Pintilie, L., Torres, C.M., Teodosiu, C., Castells, F., "Urban wastewater reclamation for industrial reuse: An LCA case study", *Journal of Cleaner Production*, 2016, 139:1–14.
- [2] Waste Water from the Iron and Steel Industry and Mining. (1979). *Studies in Environmental Science*, 217–227.
- [3] http://www.gubretas.com.tr/Files/UserFiles/7/5_GUBRF_Yatrmc_Sunumu_Haziran17-Guncel.pdf. Erişim Tarihi: 26 Aralık.2018.
- [4] Gross, R. S., Berna, F., Karkanis, P., & Weiner, S. (2004). Bat guano and preservation of archaeological remains in cave sites. *Journal of Archaeological Science*, 31, 1259-1272.
- [5] Demirtaş, I., Arı, N., Arpacıoğlu, A., Kaya, H., & Özkan, C. (2007). Different organic fertilizer chemical properties the effect of spent mushroom compost use on some soil properties and yield in greenhouse tomato cultivation. V. National Horticulture Congress, Erzurum.
- [6] Mlay, P. S., & Sagamiko, F. (2008). The use of bat guano in the improvement of the nutritive value of poor quality roughage fed to ruminants in Tanzania. *Veterinarski Arhiv*, 78(5), 417-427.
- [7] Sothearn, T., Furey, M. N., & Jurgens, J. A. (2014). Effect of bat guano on the growth of five economically important plant species. *Journal of Tropical Agriculture*, 52(2), 169-173.
- [8] Borowiec, M., Huculak, M., Hoffmann, K., & Hoffmann, J. (2009). Biodegradation of selected substances used in liquid fertilizers as an element of Life Cycle Assessment. *Polish Journal of Chemical Technology*, 11(1), 1–3.
- [9] Ivan PLASCAK, Vladimir PUVACA, Mladen JURISIC, Irena RAPCAN, Vinko DUVNJAK(2008). INFLUENCE OF MINERAL AND ORGANIC FERTILIZER ON PRIMARY CONTAMINATION OF THE GROUND WATERS IN EASTERN CROATIA, 151-154
- [10] <https://www.wwdmag.com/utility-management/article/10939708/what-is-total-suspended-solids-tss> Erişim Tarihi: 9 Eylül.2021.
- [11] Mert Can HACİFAZLIOĞLU, MBR Yöntemi ile Arıtılmış Yüksek Tuzlulukta Atık Suların Tarımsal Sulamada Geri Kullanımı için NF/RO Prosesi ile Son Aşama Arıtımı-ITOB-OSB Atık Su Arıtma Tesisi'nde Pilot Ölçek Testler, Ege Üniversitesi, Uygulamalı Ve Doğa Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2018.
- [12] https://www.sterlitech.com/media/wysiwyg/CF_Handbook_2022.pdf?srsId=AfmBOopRnEy d8OCCxW6AX0yvUWhvk5eKJXE_MuFH-IjmcSdmjIRJiHN1 Erişim Tarihi: 14 Haziran.2022.

AMPİSİLİN, AZLOSİLİN VE PENİSİLİN MOLEKÜLLERİNİN YAPISAL OPTİMİZASYONU VE POLAR HACİM HESAPLAMALARI AMPİSİLİN, AZLOSİLİN VE PENİSİLİN MOLEKÜLLERİNİN YAPISAL OPTİMİZASYONU VE POLAR HACİM HESAPLAMALARI

Dr. Öğretim Üyesi NECDET KARAKOYUN

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi,

Muradiye Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü,

necdetkarakoyun@yyu.edu.tr - 0000-0002-6083-6921

ÖZET

Bu araştırma, Ampisilin, Azlosilin ve Penisilin antibiyotik moleküllerinin yapısal optimizasyonları ve polar hacim hesaplamalarına yönelik teorik bir analiz sunmaktadır. Moleküllerin elektronik ve geometrik özellikleri Gaussian 16 yazılımı kullanılarak yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) yöntemleriyle incelenmiştir. Gerçekleştirilen hesaplamalar, B3LYP/6-311G(d,p) düzeyinde yapılmış olup, moleküllerin kararlı geometrilerinin belirlenmesi ve ilgili bağ uzunlukları ile bağ açıları gibi yapısal parametrelerin analizi üzerine odaklanmıştır. Ayrıca, polar hacim hesaplamaları, moleküllerin elektrostatik potansiyel haritalarının çıkarılmasında ve biyolojik aktivitelerinin anlaşılmasında önemli bir araç olarak kullanılmıştır.

Analizler, Ampisilin molekülünün kararlı geometrik yapısının yanı sıra yük dağılımının homojenliğini göstermiştir. Azlosilin molekülü, geniş spektrumlu antibiyotik sınıfında yer alması sebebiyle, biyolojik ortam koşullarında yüksek stabilite sergileyen optimize edilmiş bir yapı sunmuştur. Penisilin molekülüne ilişkin polar hacim hesaplamaları ise molekülün çözünürlüğünü ve protein bağlanma afinitesini etkileyen temel faktörleri gözler önüne sermiştir.

Bu veriler, antibiyotik moleküllerinin farmakolojik etkinliklerini anlamaya ve geliştirmeye yönelik teorik bir çerçeve sağlamaktadır. Araştırmanın sonuçları, antibiyotik geliştirme süreçlerinde moleküler düzeyde daha iyi tasarım stratejilerine katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Oksadiazol, DFT, Antimikrobiyal aktivite, Yapısal Optimizasyon, Polar Hacim, Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi.

1. GİRİŞ

Antibiyotikler, tıbbi tarihte insan sağlığına büyük etkileri olan ve nadir "mucize ilaçlar" olarak kabul edilen ilaçlardan biridir. Bu bileşikler, bakteri veya mantarların ürettiği ve mikroorganizmaların büyümesini engelleyerek veya öldürerek etki gösteren önemli ilaçlardır. Günümüzde yüzlerce çeşit antibiyotik tanımlanmış olup, çoğu enfeksiyon hastalıklarının tedavisinde kullanılmaktadır.¹⁻⁴

Beta-laktam antibiyotikler, hem hastanelerde hem de toplumda en sık kullanılan ilaçlardır. Penisilinler, bu kategoriye dahil olup bakteri ve mantar enfeksiyonlarının tedavisinde geniş bir şekilde kullanılmaktadır.^{2,5-7} Ampisilin, *Penicillium notatum* ve *Penicillium chrysogenum* suşlarından türetilen yarı sentetik bir penisilin türüdür ve bakteriyel hücre duvarı protein sentezini engelleyerek etki gösterir⁸. Penisilin V ise dar spektrumlu bir β -laktam antibiyotiktir ve bakteriyel büyümeyi durdurarak hücre duvarı biyosentezini inhibe eder⁹⁻¹¹. Azlosilin, yarı sentetik bir penisilin türü olup β -{(2R)-2-[(2-oksoimidazolidin-1-karbonil)amino]-2-fenilasetil}amino yan grubuna sahiptir^{7,12,13}. Özellikle *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* ve *Haemophilus influenzae* kaynaklı enfeksiyonlarda etkili olduğu bilinmektedir¹⁴. Bu antibakteriyel ilaç, penisilin türevleri arasında yer alır ve aynı zamanda yarı sentetik bir antibiyotik ile bir penisilin alerjeni olarak da nitelendirilir^{4,14,15}. Ayrıca Azlosilin(1-), konjuge asidi olarak da bilinir. Bu antibiyotikler, geniş ve dar spektrumlu özellikleriyle enfeksiyon tedavisinde önemli bir rol oynamaktadır.

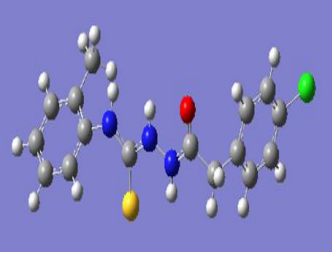
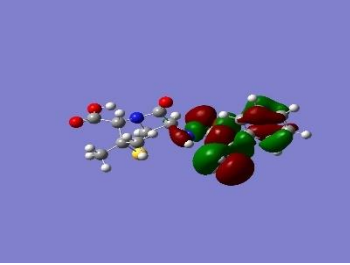
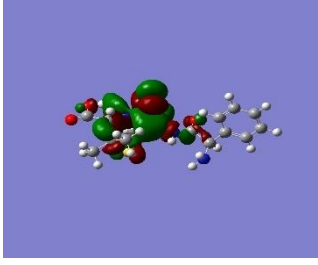
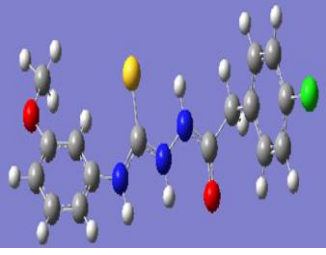
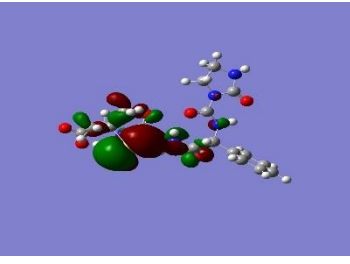
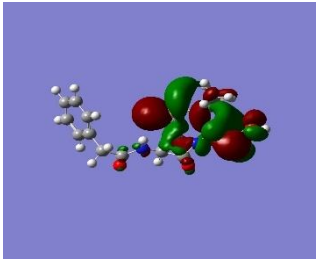
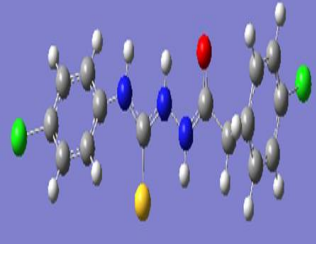
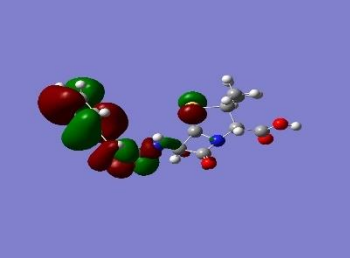
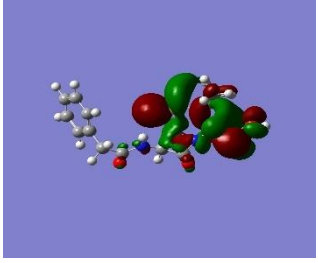
Bu çalışma, Ampisilin, Azlosilin ve Penisilin gibi antibiyotik moleküllerinin farmakolojik etkinliklerini daha iyi anlamak ve optimize etmek için teorik bir temel sunmaktadır. Moleküllerin yapısal ve elektronik özellikleri üzerine yapılan analizler, bu bileşiklerin biyolojik aktiviteleriyle doğrudan ilişkili olan önemli parametreleri ortaya koymaktadır. Araştırmadan elde edilen bulgular, antibiyotik tasarımı ve geliştirme süreçlerinde moleküler düzeyde daha etkili stratejiler geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Bu çalışma, antibiyotiklerin klinik etkinliğini artırma ve yeni türevler oluşturma yönündeki çabalara ışık tutmaktadır.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu çalışma, Ampisilin, Azlosilin ve Penisilin moleküllerinin yapısal ve kuantum kimyasal özelliklerini incelemektedir. Moleküllerin teorik analizleri ve görselleştirmeleri Gaussian ve GaussView yazılım paketleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir(Çizelge 1).

Sınır moleküler orbitalleri (HOMO-LUMO), hacim (volume) ve yoğunluk değerleri, 6-311+G(d,p) baz setine sahip DFT/B3LYP (Lee-Yang-Parr korelasyon fonksiyonelini kullanan Becke'nin üç parametrelili hibrit modeli) yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, moleküllerin kararlı geometrik yapılarının belirlenmesi, sınır moleküler orbitalleri enerji seviyelerinin tespit edilmesi ve antibakteriyel aktiviteleri ile arasındaki ilişki deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak yorumlandı¹⁶.

Çizelge 1. Optimize edilmiş temel hal geometrisi (GSG), HOMO ve LUMO diyagramları

Molekül	GSG	HOMO	LUMO
Ampisilin			
Azlosilin			
Penisilin			

Antibakteriyel aktivitesi, tanımlayıcı LUMO (En Düşük Enerjili Boş Moleküler Orbital) ve yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanır.

LUMO, bir molekülün elektronegatifliğini ve reaktivitesini tanımlayan bir parametredir. Düşük kapasiteli LUMO'lu moleküller, yüksek kapasiteli LUMO'lu moleküllere göre daha fazla elektron kabul edebilir ve sonuç olarak daha yüksek aktivite gösterir.

YOĞUNLUK ise, atomların bir moleküle ne kadar sıkı bir şekilde paketlendiğini gösterir; moleküler ağırlık ve moleküler hacmin oranı olarak hesaplanır. Böylece, daha düşük yoğunluğa sahip bir molekül daha yüksek aktiviteye sahip olacaktır.

Çizelge 2. Molekül, LUMO, Polar Hacim, m, V ve d sonuçları

TD-DFT 6-311G(d,p)					
Molekül	Bohr ³ /mol	LUMO (au)	m (g/mol)	V (cm ³ /mol)	d (g/cm ³)
Ampisilin	2928.519	-0.0443	349.4	261.338	1.36
Azlosilin	3874.894	-0.0572	461.5	345.791	1.34
Penisilin	2680.700	-0.0627	334.4	239.223	1.39

- **Penisilin:**
 - En düşük **ELUMO** değeriyle en reaktif moleküldür.
 - Ancak, yoğunluğu yüksek (1.39 g/cm³) ve Bohr³/mol değeri diğerlerine göre daha düşüktür(Çizelge 2).
- **Azlosilin:**
 - İkinci en düşük ELUMO değerine sahiptir (-0.0572).
 - En düşük yoğunluğa (1.34 g/cm³) ve en büyük Bohr³/mol değerine (3874.894) sahiptir. Bu, onun çözünürlük ve biyolojik aktivite açısından avantajlı olduğunu gösterir(Çizelge 2)..
- **Ampisilin:**
 - Orta seviyede ELUMO (-0.04431) ve yoğunluğa (1.36 g/cm³) sahiptir. Bohr³/mol değeri ise orta düzeydedir(Çizelge 2)..

4. SONUÇ

Tüm parametreler değerlendirildiğinde, Azlosilin'in en iyi dengeyi sağladığı görülmüştür. Düşük ELUMO değeri ile iyi bir reaktivite sunarken, aynı zamanda en düşük yoğunluğa ve en yüksek Bohr³/mol değerine sahiptir. Bu özellikleri sayesinde Azlosilin, çözünürlük ve biyolojik etkileşim açısından diğer bileşiklere kıyasla daha avantajlı bir profil sergilemektedir. Bu nedenle, Azlosilin, hem kimyasal hem de biyolojik uyumluluk açısından en uygun bileşik olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

- 1 Dudoignon, E. *et al.* Evolution, control and success of combination therapy with Ampicilin-sulbactam/Ceftazidime-Avibactam during a Carbapenem-Resistant *Acinetobacter baumannii* outbreak in burn Intensive Care Unit. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* **43**, 1453-1459 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10096-024-04840-9>
- 2 Tunevall, G. & Frisk, A. R. Microbiological studies of some new penicillins in vitro and in vivo. *Chemotherapia (Basel)* **3**, 449-461 (1961). <https://doi.org/10.1159/000219559>
- 3 Akter, S., Chowdhury, A. & Mina, S. A. Antibiotic Resistance and Plasmid Profiling of *Escherichia coli* Isolated from Human Sewage Samples. *Microbiol Insights* **14**, 11786361211016808 (2021). <https://doi.org/10.1177/11786361211016808>
- 4 Barza, M. Antimicrobial spectrum, pharmacology and therapeutic use of antibiotics. Part 2: penicillins. *Am J Hosp Pharm* **34**, 57-67 (1977).
- 5 Chen, B., Ma, M. & Su, X. An amperometric penicillin biosensor with enhanced sensitivity based on co-immobilization of carbon nanotubes, hematein, and β -lactamase on glassy carbon electrode. *Analytica Chimica Acta* **674**, 89-95 (2010). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.06.014>
- 6 Kirby, W. M. & Bulger, R. J. THE NEW PENICILLINS AND CEPHALOSPORINS. *Annu Rev Med* **15**, 393-412 (1964). <https://doi.org/10.1146/annurev.me.15.020164.002141>
- 7 Peng, X. *et al.* Proteomic analysis of the sarcosine-insoluble outer membrane fraction of *Pseudomonas aeruginosa* responding to ampicilin, kanamycin, and tetracycline resistance. *J Proteome Res* **4**, 2257-2265 (2005). <https://doi.org/10.1021/pr050159g>
- 8 Khan, A. A., Mohd, D. A., Bano, D. S., Siddiqi, K. & Asiri, A. M. Spectrophotometric methods for the determination of Ampicillin by potassium permanganate and 1-chloro-2,4-dinitrobenzene in Pharmaceutical Preparations. *Arabian Journal of Chemistry* **53** (2012). <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.04.033>
- 9 Medvedovici, A., Ionescu, M., Mircioiu, C. & David, V. Optimization of a liquid–liquid extraction method for HPLC–DAD determination of penicillin-V in human plasma. *Microchemical Journal* **72**, 85-92 (2002). [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0026-265X\(01\)00160-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0026-265X(01)00160-6)
- 10 Dayan, A. D. Allergy to antimicrobial residues in food: assessment of the risk to man. *Vet Microbiol* **35**, 213-226 (1993). [https://doi.org/10.1016/0378-1135\(93\)90146-x](https://doi.org/10.1016/0378-1135(93)90146-x)
- 11 Flurer, C. L. Analysis of antibiotics by capillary electrophoresis. *Electrophoresis* **18**, 2427-2437 (1997). <https://doi.org/10.1002/elps.1150181233>
- 12 Hsieh, S.-H., Huang, H.-Y. & Lee, S. Determination of eight penicillin antibiotics in pharmaceuticals, milk and porcine tissues by nano-liquid chromatography. *Journal of Chromatography A* **1216**, 7186-7194 (2009). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.05.080>
- 13 Granelli, K., Elgerud, C., Lundström, Å., Ohlsson, A. & Sjöberg, P. Rapid multi-residue analysis of antibiotics in muscle by liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta* **637**, 87-91 (2009). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.08.025>

- 14 Perçin Özkorucuklu, S., Sarı, M. & Yıldırım Baştemur, G. Bazı Penisilinlerin Farmasötik Dozaj Formlarından Voltametrik Tayinleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 989-994 (2019). <https://doi.org/10.31590/ejosat.649740>
- 15 Riediker, S., Rytz, A. & Stadler, R. H. Cold-temperature stability of five β -lactam antibiotics in bovine milk and milk extracts prepared for liquid chromatography–electrospray ionization tandem mass spectrometry analysis. *Journal of Chromatography A* **1054**, 359-363 (2004). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.07.085>
- 16 Bozhalil, S., Sungur, F., Koşan, C. & Energin, M. Antibakteriyel İlaçlar. *Atatürk Üniversitesi Tıp Bülteni* **23**, 405-415 (1991).

CEFOTAKSİM, SEFAZOLİN VE SEFUROKSİM MOLEKÜLLERİNİN YAPISAL OPTİMİZASYONU VE POLAR HACİM HESAPLAMALARI

Dr. Öğretim Üyesi NECDET KARAKOYUN

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi,

Muradiye Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü,

necdetkarakoyun@yyu.edu.tr - 0000-0002-6083-6921

ÖZET

Bu çalışma, cefotaksim, sefazolin ve sefuroksim moleküllerinin yapısal özelliklerini detaylı bir şekilde analiz etmeyi amaçlamaktadır. Moleküllerin bağ uzunlukları ve polar hacimleri, yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) yöntemi kullanılarak B3LYP/6-311G(d,p) düzeyinde hesaplanmıştır. Gaussian 16 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen bu hesaplamalar, moleküllerin kararlı geometrilerinin ve polarizabilite ile ilişkili hacimsel özelliklerinin anlaşılmasına olanak sağlamaktadır. Optimizasyon sonuçları, cefotaksim molekülünün 1.78 Å bağ uzunluğuna ve 310.5 cm³/mol polar hacime sahip olduğunu göstermiştir. Sefazolin, daha kısa bağ uzunluğu (1.75 Å) ve 295.2 cm³/mol polar hacim ile dikkat çekmektedir. Sefuroksim ise 1.80 Å bağ uzunluğu ve 305.7 cm³/mol polar hacim ile yapısal özellikler açısından dengeli bir yapı sunmaktadır.

Bu çalışma, beta-laktam antibiyotiklerin fizikokimyasal özelliklerini anlamaya yönelik önemli bilgiler sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar, moleküllerin biyolojik aktivitelerinin optimize edilmesi ve ilaç geliştirme süreçlerinde kullanılacak moleküler tasarım stratejilerine katkı sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Cefotaksim, Sefazolin, Sefuroksim, Yapısal Optimizasyon, Polar Hacim, Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi.

1. GİRİŞ

Antibiyotikler, tıbbi tarihte insan sağlığına büyük etkileri olan ve nadir "mucize ilaçlar" olarak kabul edilen ilaçlardan biridir. Bu bileşikler, bakteri veya mantarların ürettiği ve mikroorganizmaların büyümesini engelleyerek veya öldürerek etki gösteren önemli ilaçlardır. Günümüzde yüzlerce çeşit antibiyotik tanımlanmış olup, çoğu enfeksiyon hastalıklarının tedavisinde kullanılmaktadır.¹⁻⁴

Sefalosporinler, geniş bir β -laktam antimikrobiyal ajanlar grubunu temsil eder. Bu ilaçlar, kimyasal olarak penisilinlerden ayrılan altı üyeli bir dihidrotiazin (sefem) halkasının β -laktam halkasına eklenmesiyle oluşturulmuştur⁵. Sefalosporinler, doğru şekilde kullanıldığında birçok enfeksiyon hastalığının güvenli, etkili ve verimli bir şekilde tedavi edilmesine olanak tanırken enfeksiyon tedavisinde birinci tercih olmasalar da önemli bir rol oynarlar⁶. Bu ilaç grubunun geniş spektrumlu antimikrobiyal etki ve düşük toksisite oranları gibi avantajları bulunmaktadır⁷. Ancak çoğu sefalosporin enjeksiyon yoluyla uygulanmak zorundadır; oral formdaki sefalosporinlerin sayısı ise sınırlıdır çünkü etkili bir emilim seviyesine ulaşmaları zor olabilir. Genel olarak, sefalosporinler üst ve alt solunum yolu enfeksiyonları, basit cilt ve yumuşak doku enfeksiyonları ile komplike olmayan idrar yolu enfeksiyonlarının tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır⁷⁻¹⁰.

Bu çalışma, antibiyotiklerin klinik etkinliğini artırma ve yeni türevler oluşturma yönündeki çabalara ışık tutmaktadır. Bu çalışma, cefotaksim, sefazolin ve sefuroksim gibi beta-laktam antibiyotiklerin yapısal ve fizikokimyasal özelliklerini detaylı bir şekilde analiz ederek, bu moleküllerin farmakolojik etkinliklerini ve biyolojik aktivitelerini anlamaya yönelik önemli bir katkı sunmaktadır. Yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen hesaplamalar, moleküllerin bağ uzunlukları ve polar hacimlerinin yapısal kararlılıkları ve polarizabilite özellikleri ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Özellikle cefotaksim, $314.5 \text{ cm}^3/\text{mol}$ ile en yüksek polar hacme sahip molekül olarak dikkat çekerken, sefazolin daha kısa bağ uzunluğu ve daha düşük polar hacmiyle farklı bir profil sergilemiştir. Sefuroksim ise dengeli yapısı ile öne çıkmıştır. Bu sonuçlar, antibiyotiklerin biyolojik aktivitelerinin optimize edilmesi ve yeni nesil ilaç tasarımı süreçlerinde uygulanabilir stratejilerin geliştirilmesi açısından değerli bilgiler sağlamaktadır.

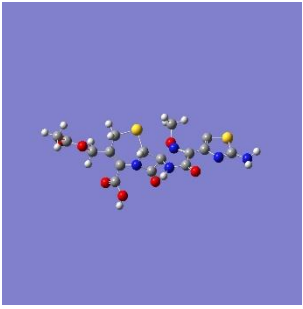
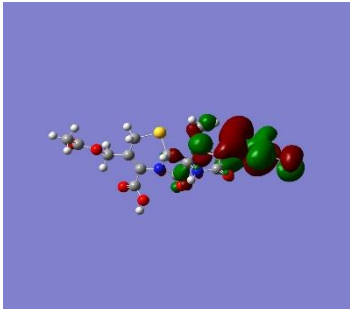
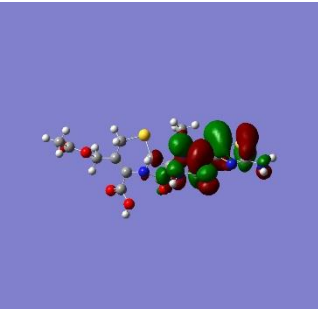
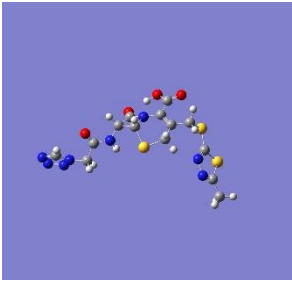
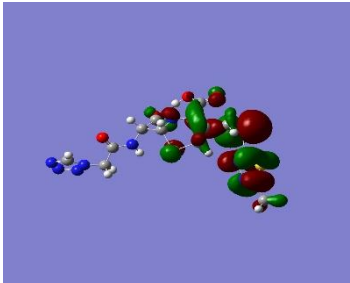
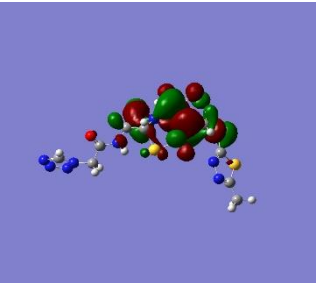
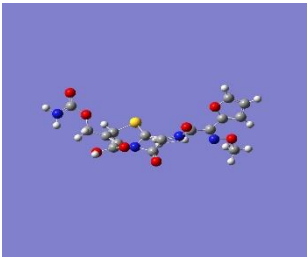
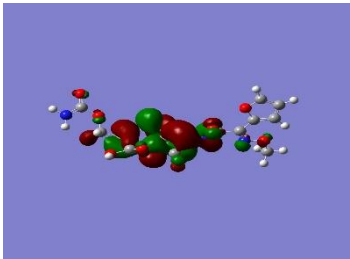
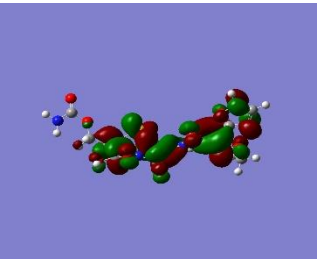
2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu çalışma, cefotaksim, sefazolin ve sefuroksim moleküllerinin yapısal ve kuantum kimyasal özelliklerini incelemektedir. Moleküllerin teorik analizleri ve görselleştirmeleri Gaussian ve GaussView yazılım paketleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir(Çizelge 1).

Sınır moleküler orbitalleri (HOMO-LUMO), hacim (volume) ve yoğunluk değerleri, $6-311+G(d,p)$ baz setine sahip DFT/B3LYP (Lee-Yang-Parr korelasyon fonksiyonelini kullanan Becke'nin üç parametrelili hibrit modeli) yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, moleküllerin kararlı geometrik yapılarının belirlenmesi, sınır moleküler orbitalleri enerji

seviyelerinin tespit edilmesi ve antibakteriyel aktiviteleri ile arasındaki ilişki deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak yorumlandı¹¹.

Çizelge 1. Optimize edilmiş temel hal geometrisi (GSG), HOMO ve LUMO diyagramları

Molekül	GSG	HOMO	LUMO
Cefotaksim			
Sefazolin			
Sefuroksim			

Antibakteriyel aktivitesi, tanımlayıcı LUMO (En Düşük Enerjili Boş Moleküler Orbital) ve yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanır.

LUMO, bir molekülün elektronegatifliğini ve reaktivitesini tanımlayan bir parametredir. Düşük kapasiteli LUMO'lu moleküller, yüksek kapasiteli LUMO'lu moleküllere göre daha fazla elektron kabul edebilir ve sonuç olarak daha yüksek aktivite gösterir.

YOĞUNLUK ise, atomların bir moleküle ne kadar sıkı bir şekilde paklendiğini gösterir; moleküler ağırlık ve moleküler hacmin oranı olarak hesaplanır. Böylece, daha düşük yoğunluğa sahip bir molekül daha yüksek aktiviteye sahip olacaktır.

Çizelge 2. Molekül, LUMO, Polar Hacim, m, V ve d sonuçları

TD-DFT 6-311G(d,p)					
Molekül	Bohr ³ /mol	LUMO (au)	m (g/mol)	V (cm ³ /mol)	d (g/cm ³)
Cefotaksim	3529.380	-0.1	455.5	314.958	1.44
Sefazolin	3297.280	-0.088	454.5	294.246	1.55
Sefuroksim	3077.933	-0.069	424.4	274.671	1.54

Bu veriler, cefotaksim, sefazolin ve sefuroksim moleküllerinin **TD-DFT 6-311G(d,p)** yöntemine göre hesaplanmış bazı fizikokimyasal özelliklerini özetlemektedir. Verilerden yola çıkarak şu şekilde yorum yapılabilir(Çizelge 2):

1. Bohr³/mol (Polar Hacim):

- Cefotaksim, 3529.380 Bohr³/mol ile en yüksek polar hacme sahiptir, bu da molekülün daha büyük bir elektron dağılımına sahip olduğunu ve polarize olabilme kapasitesinin diğerlerinden daha fazla olduğunu gösterir.
- Sefazolin ve sefuroksim sırasıyla 3297.280 ve 3077.933 Bohr³/mol değerleriyle daha düşük polar hacimlere sahiptir. Sefuroksim, üç molekül arasında en düşük polar hacme sahip olanıdır.

2. LUMO Enerjisi (au):

- LUMO (En Düşük Enerjili Moleküler Orbital) değerleri, moleküllerin elektron alıcı özelliklerini ifade eder. Daha negatif değerler, daha güçlü bir elektron alıcı özelliği gösterir.
- Cefotaksim, -0.1 au ile en güçlü elektron alıcı özellik gösterirken, sefuroksim (-0.069 au) en düşük elektron alıcı özelliğe sahiptir. Sefazolin ise orta bir değer (-0.088 au) sergilemektedir.

3. Moleküler Kütle (m, g/mol):

- Cefotaksim (455.5 g/mol) en büyük moleküler kütleyle sahipken, sefuroksim (424.4 g/mol) en küçük moleküler kütleyle sahiptir. Sefazolin ise bu iki molekül arasında yer alır (454.5 g/mol).

4. Mol Hacmi (V, cm³/mol):

- Cefotaksim (314.958 cm³/mol), en büyük mol hacmine sahip moleküldür. Bu durum, molekülün yapısal olarak daha geniş bir hacim kapladığını ifade eder.
- Sefazolin (294.246 cm³/mol) ve sefuroksim (274.671 cm³/mol) daha küçük hacimlere sahiptir.

5. Yoğunluk (d, g/cm³):

- Sefazolin (1.55 g/cm³), en yüksek yoğunluğa sahip olup, daha kompakt bir yapıya sahiptir.

- Sefuroksim (1.54 g/cm^3) yoğunluk açısından sefazoline yakın değerler gösterirken, cefotaksim (1.44 g/cm^3) daha düşük bir yoğunluğa sahiptir.

4. SONUÇ

Cefotaksim, geniş polar hacmi ve güçlü elektron alıcılığı ile öne çıkan bir molekül olup, bu özellikleri biyolojik etkileşimlerde önemli bir rol oynayabilir. Sefazolin ise yüksek yoğunluğu ve daha kompakt polar hacmiyle farklı bir kimyasal profil sunarken, yapısal özellikleri sayesinde belirli farmasötik uygulamalarda avantaj sağlayabilir. Sefuroksim, daha küçük polar hacmi ve moleküler kütlesiyle dikkat çekmekle birlikte, yoğunluk açısından dengeli bir yapıya sahiptir ve bu özellikleri, spesifik biyolojik hedefler için uygunluk sağlayabilir. Her bir molekülün farklı fizikokimyasal özellikleri, onların biyolojik etkinlikleri ve potansiyel farmakolojik kullanım alanları üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olabilir.

KAYNAKÇA

- 1 Dudoignon, E. *et al.* Evolution, control and success of combination therapy with Ampicilin-sulbactam/Ceftazidime-Avibactam during a Carbapenem-Resistant Acinetobacter baumannii outbreak in burn Intensive Care Unit. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* **43**, 1453-1459 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10096-024-04840-9>
- 2 Tunevall, G. & Frisk, A. R. Microbiological studies of some new penicillins in vitro and in vivo. *Chemotherapia (Basel)* **3**, 449-461 (1961). <https://doi.org/10.1159/000219559>
- 3 Akter, S., Chowdhury, A. & Mina, S. A. Antibiotic Resistance and Plasmid Profiling of Escherichia coli Isolated from Human Sewage Samples. *Microbiol Insights* **14**, 11786361211016808 (2021). <https://doi.org/10.1177/11786361211016808>
- 4 Barza, M. Antimicrobial spectrum, pharmacology and therapeutic use of antibiotics. Part 2: penicillins. *Am J Hosp Pharm* **34**, 57-67 (1977).
- 5 LiPuma, J. J. & Stull, T. L. Antibacterial agents in pediatrics. *Infect Dis Clin North Am* **9**, 561-574 (1995).
- 6 Gustaferrero, C. A. & Steckelberg, J. M. Cephalosporin antimicrobial agents and related compounds. *Mayo Clin Proc* **66**, 1064-1073 (1991). [https://doi.org/10.1016/s0025-6196\(12\)61731-5](https://doi.org/10.1016/s0025-6196(12)61731-5)
- 7 Zdziarski, P. Electrophoretic properties of beta-lactam and serum protein conjugates. *Acta Pol Pharm* **57**, 411-413 (2000).
- 8 García-Rodríguez, J. A., Muñoz Bellido, J. L. & García Sánchez, J. E. Oral cephalosporins: current perspectives. *International Journal of Antimicrobial Agents* **5**, 231-243 (1995). [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0924-8579\(95\)00015-Z](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0924-8579(95)00015-Z)
- 9 Kneer, J. Pharmacokinetic properties of new oral cephalosporins. *Médecine et Maladies Infectieuses* **22**, 556-564 (1992). [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0399-077X\(05\)80869-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0399-077X(05)80869-8)
- 10 Bergan, T. Pharmacokinetics of beta-lactam antibiotics. *Scand J Infect Dis Suppl* **42**, 83-98 (1984).
- 11 Bozhalil, S., Sungur, F., Koşan, C. & Energin, M. Antibakteriyel İlaçlar. *Atatürk Üniversitesi Tıp Bülteni* **23**, 405-415 (1991).



EGE 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
DECEMBER 26 – 30, 2024 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-5962-10-2

SYNTHESIS, FUNCTIONALITY, AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF CH/GA/SSPW COMPOSITE PARTICLES

Res. Assist. Elif AYKUT

Pamukkale University, Chemical Engineering Department,
elifaykut@pau.edu.tr – 0009-0006-5770-3278

Assoc. Prof. Dr. Deniz AKIN ŞAHBAZ

Pamukkale University, Chemical Engineering Department,
dsahbaz@pau.edu.tr – 0000-0002-8667-2451

ABSTRACT

In the present study, a novel composite powder containing chitosan (Ch), gum Arabic (GA), and sesame seed pulp waste (SSPW) was synthesized. Ch and GA were used together in the synthesis process due to their complementary features enhancing overall capability and functionality. The polymer mixtures were neutralized in NaOH solution to form stable particles. Environmentally friendly and sustainable SSPW was used to enhance the cost-effectiveness and performance of the material. Cross-linking was endeavored to improve the stability of the structure.

This work aims to determine the effects of the mixing amount of Ch as a cationic polyelectrolyte and GA as an anionic polyelectrolyte at different weight ratios of Ch/GA/SSPW of 1:2:1 and 2:1:1 on the structure of fabricate complexes containing biomass. Also, the contribution of cross-linking by glutaraldehyde was investigated. The relationships between the weight ratio of the polymers in the composite matrix, surface functionality, microstructure, pore capacity, and surface area of complexes were explored, aiming to create optimum stable composite particles for various applications. The relationships between the weight ratio of polymers in the composite matrix and the interface, surface functionality, microstructure, pore capacity, and surface area of the composites were explored, aiming to create optimum stable composite particles for various applications.

FTIR was used to observe surface functional groups and changes in chemical properties and confirmed the interaction between CS and GA combination. The surface morphology of composite particles was characterized using SEM. N₂ adsorption-desorption isotherms were used to examine the porosity and the surface area.

Keywords: Chitosan, gum Arabic, sesame seed pulp waste, complex particles.

1. INTRODUCTION

Biopolymer–biopolymer interactions are becoming significant in current research across various fields because they affect the micro-scale structural formation of biopolymer-containing systems, which greatly have results related to their consistency, mechanical stability, texture, and porosity (Espinosa-Andrews et al., 2010). Also, researchers have been searching for various ways to improve the sustainability and functioning of micro and nano components in recent years (Rajabi et al., 2019). The application of green and sustainable micromaterials is becoming of increased interest for various applications such as adsorption, catalysis, anti-corrosive coatings, and microencapsulation (Şahbaz, 2023; TaheriAshtiani and Ayati, 2022; Kiey et al., 2022; Butstraen and Salaün, 2014).

Chitosan (Ch), obtained by alkaline N-deacetylation of chitin, is the second most prevalent polysaccharide in the world. Because chitosan is safe, biodegradable, and biocompatible, its application in the industry is becoming attractive. The ionic strength, pH value, and molecular weight all affect the characteristics of chitosan in solution (Espinosa-Andrews et al., 2007). This biomolecule's amine groups ionize at acidic pH levels, making chitosan water soluble and positively charged (Rajabi et al., 2019).

Gum Arabic (GA) is a naturally occurring branched-chain complex polysaccharide made from the exudates of Acacia Senegal or related Acacia species stems and branches. Its chemical composition varies depending on its source and the properties of the trees from which it was obtained such as age, soil environment, and the climate. 1,3-linked β -d-galactopyranosyl species make up its backbone, while two to five 1,3-linked β -d-galactopyranosyl units as side chains (Kiey et al., 2022). Because of its excellent microencapsulating qualities, as well as its high solubility and low viscosity at high concentrations, gum Arabic is a negatively charged polyelectrolyte that finds extensive application in industry (Espinosa-Andrews et al., 2007).

According to the literature, gum Arabic does not give certain organic liquids long-term stability against oxidation. Therefore, studying how it interacts with other biopolymers to enhance its oxidation-resistant barrier qualities would be intriguing. On the other hand, that chitosan has high oxygen-barrier qualities. Therefore, gum Arabic and chitosan together may create an inter-biopolymer electrostatic complex that forms enhanced robust viscoelastic films with effective oxidation resistance (Espinosa-Andrews et al., 2007). Also, compared to other macromolecules, increased gum Arabic reaction sites as a result of highly branched arabinogalactan-type polysaccharides and negative charges create an ideal environment for the interaction with chitosan during ionic gelation (Rajabi et al., 2019).

Because of their practical qualities-such as being renewable, biodegradable, affordable, readily available, and easy to create composites with agricultural waste materials have gained more attention for the synthesis of microparticles for different applications. Agricultural waste contains a variety of functional groups that increase their activity and chemical reactivity with surface functionality that is beneficial for different applications. As an example, it has examined the viability of employing agricultural solid waste containing composite materials, as adsorbents to remove colors and/or heavy metals from wastewater in literature (Şahbaz, 2023). It was mentioned that adding the sesame seed pulp wastes into the polymer composites is

promising to improve their mechanical qualities, particularly their tensile strength. A range of main and minor components, including carbohydrates, proteins, minerals, fiber, and cellulose, are included in sesame seed pulp wastes, which are by-products of the different food production processes (Şahin and Elhoussein, 2018).

Nano and microcapsules generally show low thermo-mechanical properties. Therefore, these hydrophilic capsules need to be cross-linked during the synthesis stage. In addition, cross-linking of polymeric micro/nanocapsules with various cross-linkers limits their degradation rate and hydration potential, thus allowing longer-term utilization (Çağlar and Şahbaz, 2023). In literature studies, chemical crosslinkers such as formaldehyde, glutaraldehyde, diisocyanate, glyoxal, and epichlorohydrin are commonly used (Xue et al., 2011; Çağlar and Şahbaz, 2023; Welsh et al., 2002; Yang et al., 2005; Motawie et al., 2014).

In the present study, the composite powder of Chitosan, gum Arabic, and sesame seed pulp waste was synthesized with and without crosslinking by glutaraldehyde using different ratios of polyelectrolytes and characterized to understand the optimum synthesis ratio, interactions between waste biomass and the effects of the crosslinking on the structure.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materials

Chitosan (Mw: 19×10^4 - 31×10^4 Da) and glutaraldehyde solution (50 wt.%) were purchased from Sigma-Aldrich and Acros Organics, respectively. Gum Arabic was purchased from ZAG (density, d : 1.35 g/cm^3 at 25°C , purity, A : 98% min, water solubility: 500g/L at 20°C). Acidic acid and NaOH (reagent grade) were obtained from Merck.

The SSPW used in this study was obtained as a waste of the tahini production process from the Helta Corporation in Denizli, Turkey. The dried waste particles were ground and used the particles in the sizes between $350 \mu\text{m}$ and $500 \mu\text{m}$.

2.3. Synthesis of Ch/GA/SSPW Composite Materials

The synthesis processes of Ch/GA/SSPW composites were accomplished using two different ratio combinations of Ch and GA. In the first part, 2 g of chitosan and 1 g of GA were dissolved in acetic acid solution (5% by weight). Then, the obtained gel material was mixed with 1 g of SSPW using a magnetic stirrer (1000-1500 rpm) for 24 h. The mixture was then treated for 10 minutes by sonication using ultrasonic equipment (Bandelin, HD4100, Germany), operating at 20 kHz, 50% amplitude, and continuous regime. The resulting mixture was added into the NaOH solution (1.0 M) using pipe dropwise to obtain neutralization, and the mixtures were stirred at 150 rpm overnight. After this stage, the composite containing different amounts of Ch, GA, and SSPW was filtered and washed with deionized water until the pH value reached 7. The resulting material was dried at 60°C for 48 h and referred to as $\text{Ch}_2/\text{GA}_1/\text{SSPW}$. To obtain $\text{Ch}_1/\text{GA}_2/\text{SSPW}$, the mentioned synthesis method above was used only varying the Ch amount as 1 g and GA amount as 2 g. The SSPW amount was kept constant in each material.

2.3. Synthesis of Crosslinked C-Ch/GA/SSPW Composite Materials

The obtained composites as a result of the neutralization by NaOH solution were subjected to a crosslinking process using glutaraldehyde solution (2.5% by volume) at 60°C for 24 h in a water bath with a shaker to examine the effect of the crosslinking on the properties of the synthesized composite materials. Lastly, crosslinked composite particles were washed and filtered using deionized water three times and dried at 60°C for 2 days. The crosslinked C-Ch/GA/SSPW composite particles including varying amounts of Ch and GA were named as C-Ch₂/GA₁/SSPW and C-Ch₁/GA₂/SSPW.

The synthesis procedure is summarized in Fig. 1.

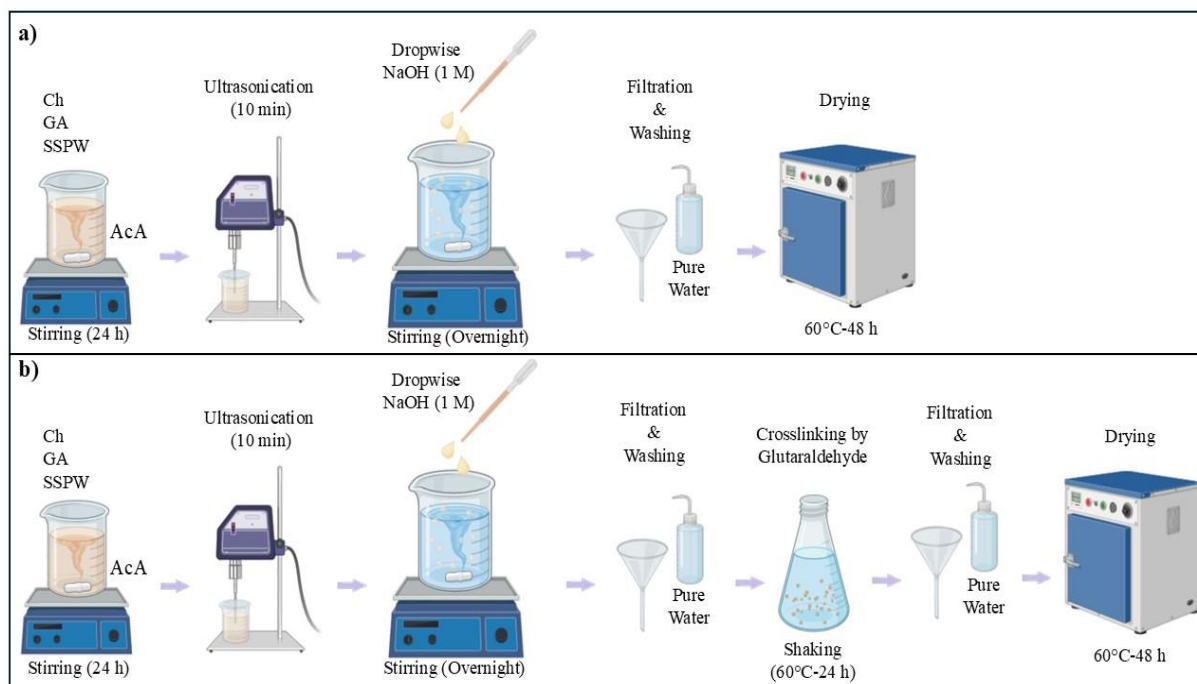


Figure 1. Synthesis method of Ch/GA/SSPW (a) and C-Ch/GA/SSPW (b).

2.4. Characterization of Ch/GA/SSPW and C-Ch/GA/SSPW Composite Materials

The chemical structure, the interactions between reagents, and the functionality of the materials were examined by a Fourier transform infrared (FTIR) spectroscope (Thermo Scientific Nicolet-iS50FT-IR) at the wavenumber range of 400–4000 cm⁻¹. Scanning Electron Microscopy images were observed by SEM, JEOL JSM-6610 to understand synthesized composite materials' morphology and surface properties. The specific surface areas of particles were determined using the Langmuir surface area determination method. N₂ adsorption-desorption isotherms were obtained at 77 K by Quantachrome Autosorb-1C-MS instrument.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Characterization of Composite Materials

Ch/GA/SSPW composite material with different reagent ratios and crosslinked composite materials C-Ch/GA/SSPW obtained as particles successfully and utilized as grounded fine powders in characterization tests.

FTIR spectroscopy was used to examine the chemical structure, the interactions between reagents, and the functionality of the synthesized materials. In literature, 1026, 1151, 1375, 1651, 2925, and 3400 cm^{-1} indicate C-OH stretching vibration, C-O-C bending vibration, CH_3 bending vibration, C=O stretching vibration, CH_3 symmetric stretch, O-H stretching vibration, N-H stretching vibration, respectively (Li et al., 2013). The characteristic peaks of Arabic gum are given in literature at 1030, 1418, 1600, 2920, and 3350 cm^{-1} which are typical bands of stretching of the C-O bond, symmetric stretching vibration of the carboxylic acid, asymmetric stretching vibration of the carboxylic acid, stretching vibration of C-H, and OH bond, respectively (Cavalu et al., 2018). Fig. 2 shows the FTIR spectra of $\text{Ch}_1/\text{GA}_2/\text{SSPW}$ and $\text{Ch}_2/\text{GA}_1/\text{SSPW}$. Each composite material exhibited characteristic peaks of Ch and GA except a band of Ch at 1651 cm^{-1} and a band of GA at 1600 cm^{-1} which refers to the electrostatic interactions that occurred between chitosan amino groups and gum Arabic carboxyl groups (Tang et al., 2024). Also, new peaks emerged at 1575 and 2850 cm^{-1} for both composite materials. These two peaks and other small vibration peaks were associated with the structural peaks of SSPW (Jagadeesan et al., 2023).

The effect of crosslinking on the structure was investigated by FTIR as given in Fig. 3. The observed peaks at 1372-1374 cm^{-1} and 1149-1150 cm^{-1} shown in Fig. 2 disappeared in the spectra of the crosslinked C-Ch/GA/SSPW materials because of the crosslinking by glutaraldehyde. In addition, the spectrum of the crosslinked materials shows an emerged peak at 1653 cm^{-1} that refers to the amide group (-C(=O)N-) because of the crosslinking process (Li et al., 2013; Şahbaz, 2023).

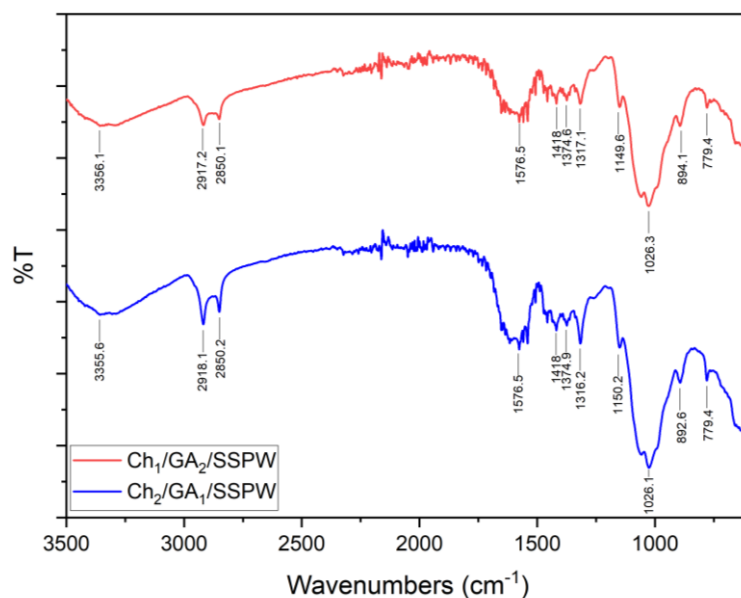


Figure 2. FTIR spectras of $\text{Ch}_1/\text{GA}_2/\text{SSPW}$ and $\text{Ch}_2/\text{GA}_1/\text{SSPW}$.

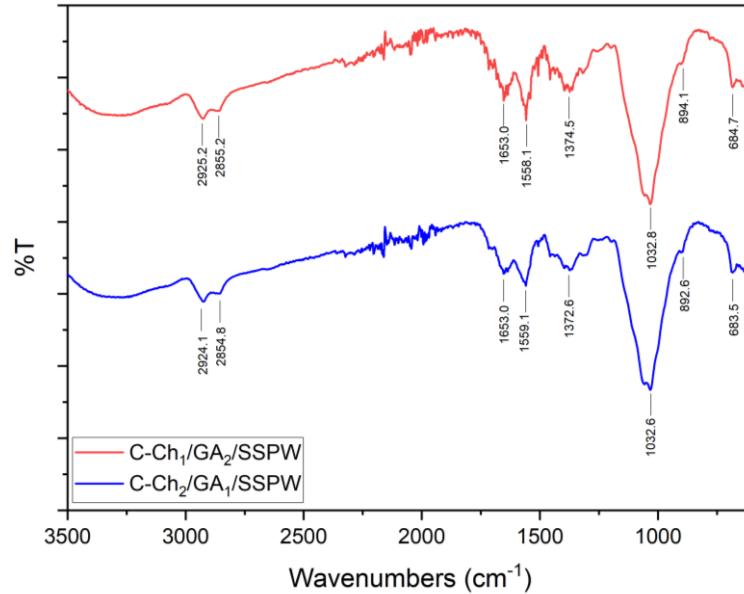


Figure 3. FTIR spectras of C-Ch₁/GA₂/SSPW and C-Ch₂/GA₁/SSPW.

The SEM images of synthesized materials are given in Fig. 4. As shown in Fig. 4 (a) and Fig. 4 (b), increased GA amount in the synthesis caused a non-smooth texture and a more porous structure. Ch₂/GA₁/SSPW exhibited a more dense and microporous structure. Broadly larger pores and curved rough surfaces were observed for Ch₁/GA₂/SSPW. The roughness and result of this hydrophilicity of the surface have been mentioned as beneficial for different applications such as adsorption and catalysis in literature (Habiba et al., 2017; Lin and Mecking, 2022). As shown in Fig. 4 (c) and Fig. 4 (d), cross-linking of the material caused a more ordered porous structure with uniform pores which has promising textural functionality with storage and adsorption capacity. Crosslinking caused regular pore shapes for both of the materials with different reagent ratios. Also, observed particles embedded in the structures demonstrate the successful participation of SSPW in the synthesized composite materials.

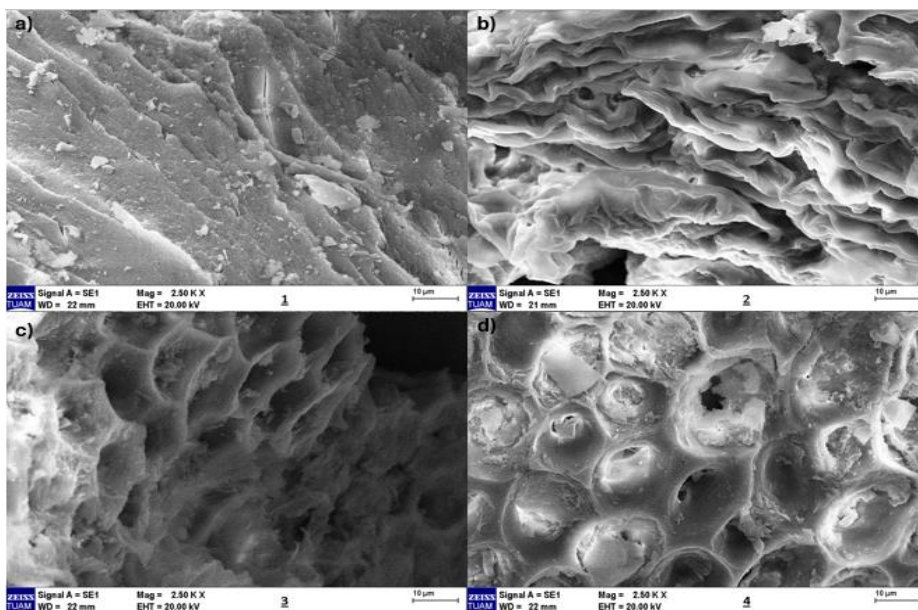


Figure 4. SEM images of Ch₂/GA₁/SSPW(a), Ch₁/GA₂/SSPW(b), C-Ch₂/GA₁/SSPW(c), and C-Ch₁/GA₂/SSPW(d).

The effect of the crosslinking on the surface area of the synthesized material was examined by comparing the Langmuir surface areas of Ch₂/GA₁/SSPW and C-Ch₂/GA₁/SSPW. The Langmuir surface area of Ch₂/GA₁/SSPW was obtained as 31.995 m²/g and this value was increased by crosslinking with glutaraldehyde to 146.324 m²/g which is the Langmuir surface area of C-Ch₂/GA₁/SSPW.

3.2. Synthesis Mechanism of Composite Materials

Fig. 5 illustrates the synthesis mechanism of crosslinked composite material. It was mentioned that interactions are observed between amino groups of chitosan and hydroxy groups of gum Arabic in literature. The crosslinking by glutaraldehyde creates bridges via amino groups of chitosan. Also, crosslinking can occur between hydroxy groups of gum Arabic (Huang et al., 2017; Kiey et al., 2022). All of this causes the porous functionalized structure of the composite materials. On the other hand, the presence of SSPW causes the formation of embedded biomass nodes into the structure of composite materials.

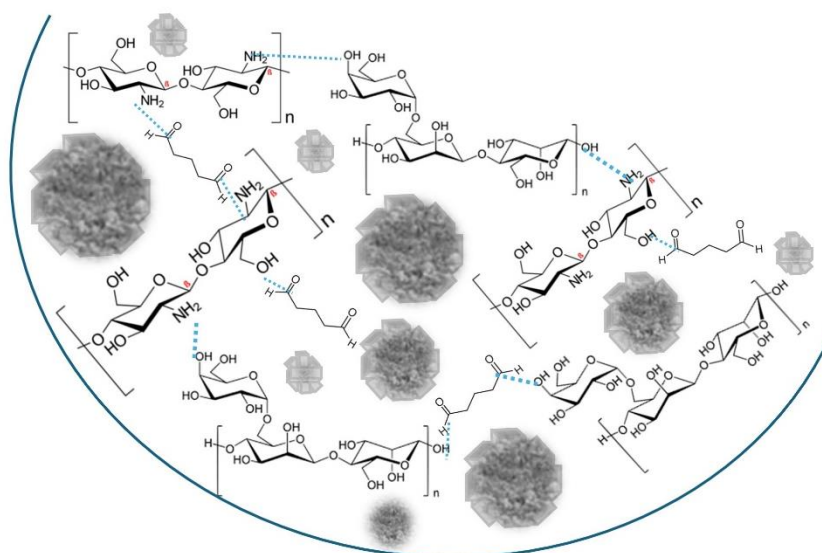


Figure 5. Synthesis mechanism of C-Ch/GA/SSPW.

4. CONCLUSION

In this study, sustainable and eco-friendly Ch/GA/SSPW composite materials with different reagent ratios were successfully synthesized in further obtained materials crosslinked by glutaraldehyde to improve properties and stability in various environments. Results showed that an increased amount of GA provides higher porosity and enhanced textural properties. Also, the crosslinking contributes to ordered enhanced porous structure with increased surface area.

REFERENCES

- [1] Butstraen, C., Salaün, F. Preparation of microcapsules by complex coacervation of gum Arabic and chitosan. *Carbohydrate polymers*, 99, 608-616, 2014.

- [2] Cavalu, S., Bisboaca, S., Mates, I. M., Pasca, P. M., Laslo, V., Costea, T., Vicas, S. Novel formulation based on chitosan-Arabic gum nanoparticles entrapping propolis extract. *Rev. Chim*, 69, 3756-3760, 2018.
- [3] Çağlar, Ş., Şahbaz, D. A. Genipin ile çapraz bağlı nanokapsüllerin sentezi ve karakterizasyonu. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12, 3, 861-871, 2023.
- [4] Espinosa-Andrews, H., Báez-González, J. G., Cruz-Sosa, F., Vernon-Carter, E. J. Gum arabic– chitosan complex coacervation. *Biomacromolecules*, 8, 4, 1313-1318, 2007.
- [5] Espinosa-Andrews, H., Sandoval-Castilla, O., Vázquez-Torres, H., Vernon-Carter, E. J., Lobato-Calleros, C. Determination of the gum Arabic–chitosan interactions by Fourier Transform Infrared Spectroscopy and characterization of the microstructure and rheological features of their coacervates. *Carbohydrate Polymers*, 79, 3, 541-546, 2010.
- [6] Habiba, U., Siddique, T.A., Joo, T.C., Salleh, A., Ang, B.C., Afifi, A.M. Synthesis of chitosan/polyvinyl alcohol/zeolite composite for removal of methyl orange, Congo red and chromium (VI) by flocculation/adsorption. *Carbohydr. Polym.*, 157, 1568–1576, 2017.
- [7] Huang, G. Q., Han, X. N., Xiao, J. X. Glutaraldehyde-crosslinked O-carboxymethyl chitosan–gum Arabic coacervates: Characteristics versus complexation acidity. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 38, 11, 1607–1612, 2017.
- [8] Jagadeesan, R., Suyambulingam, I., Somasundaram, R., Divakaran, D., Siengchin, S., Isolation and characterization of novel microcellulose from *Sesamum indicum* agro-industrial residual waste oil cake: conversion of biowaste to wealth approach. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13, 5, 4427-4441, 2023.
- [9] Kiey, S. A., Hasanin, M. S., Heikal, F. E. T. Green and sustainable chitosan–gum Arabic nanocomposites as efficient anticorrosive coatings for mild steel in saline media. *Scientific reports*, 12, 1, 13209, 2022.
- [10] Li, B., Shan, C.L., Zhou, Q., Fang, Y., Wang, Y.L., Xu, F., Han, L.R., Ibrahim, M., Guo, L.B., Xie, G.L., Synthesis, characterization, and antibacterial activity of cross-linked chitosan-glutaraldehyde. *Mar. Drugs*, 11, 1534–1552, 2013.
- [11] Lin, F., Mecking, S. Hydrophilic Catalysts with High Activity and Stability in the Aqueous Polymerization of Ethylene to High-Molecular-Weight-Polyethylene. *Angewandte Chemie*, 134, 27, 2022.
- [12] Motawie, A. M., Mahmoud, K. F., El-Sawy, A. A., Kamal, H. M., Hefni, H., Ibrahiem, H. A. Preparation of chitosan from the shrimp shells and its application for pre-concentration of uranium after cross-linking with epichlorohydrin. *Egyptian Journal of Petroleum*, 23, 2, 221-228, 2014.
- [13] Rajabi, H., Jafari, S. M., Rajabzadeh, G., Sarfarazi, M., Sedaghati, S. Chitosan-gum Arabic complex nanocarriers for encapsulation of saffron bioactive components. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 578, 123644, 2019.

- [14] Sahbaz, D. Enhanced Adsorption Performance Cross-Linked Chitosan/Citrus reticulata Peel Waste Composites as Low-Cost and Green Bio-Adsorbents: Kinetic, Equilibrium Isotherm, and Thermodynamic Studies. *Polymers*, 15, 15, 3246, 2023.
- [15] Şahin, S., Elhussein, E. A. A. Assessment of sesame (*Sesamum indicum* L.) cake as a source of high-added value substances: from waste to health. *Phytochemistry Reviews*, 17, 691-700, 2018.
- [16] TaheriAshtiani, N., Ayati, B. Using chitosan-based heterogeneous catalyst for degradation of Acid Blue 25 in the effective electro-Fenton process with rotating cathodes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 905, 115983, 2022.
- [17] Tang, Y., Gao, C., Zhang, Y., Tang, X. Structure and functionality of cinnamaldehyde/chitosan/gum Arabic complex particles. *Food Hydrocolloids*, 146, 109220, 2024.
- [18] Welsh, E. R., Schauer, C. L., Qadri, S. B., Price, R. R. Chitosan cross-linking with a water-soluble, blocked diisocyanate. 1. Solid state, *Biomacromolecules*, 3, 6, 1370-1374, 2002.
- [19] Xue, J. Q., Li, J. X., Wu, M., Wang, W., Ma, D. N. Preparation and characterization of formaldehyde crosslinked chitosan. *Advanced Materials Research*, 239, 279-282, 2011.
- [20] Yang, Q., Dou, F., Liang, B., Shen, Q. Studies of cross-linking reaction on chitosan fiber with glyoxal. *Carbohydrate Polymers*, 59, 2, 205-210, 2005.

KİMYASAL OLARAK MODİFİYE EDİLMİŞ BOR MİNERALİ ZENGİNLEŞTİRME PROSESİNDE AÇIĞA ÇIKAN ATIKLARIN SULU ÇÖZELTİLERİNDEN ACİD BLUE -113 BOYARMADDESİNİN UZAKLAŞTIRILMASINDA ADSORBAN OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

MSc. Yağmur Dilan SEVİL

Bursa Uludağ Üniversitesi

yağmurdilanarslan@gmail.com /0009-0006-3237-4498

Prof. Dr. Asım OLGUN

Bursa Uludağ Üniversitesi

asimolgun@uludag.edu.tr / 0000-0002-0657-334X

ÖZET

Bu çalışmada üleksit minerali zenginleştirme prosesi atıkları (BA) kullanılarak anyonik Asit Mavi-113 boyar maddesinin kesikli ve sürekli sistemde sulu çözeltilerinden uzaklaştırılması araştırılmıştır. Adsorpsiyon kapasitesi üzerine pH, başlangıç boya derişimi, temas süresi ve sıcaklık gibi parametrelerin etkisi incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, kinetik, termodinamik ve izotermal analizlerle değerlendirilmiştir. KBA'nın BA'ya kıyasla daha yüksek boyar madde giderim kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Adsorpsiyon deneylerinde en uygun pH değeri 3, temas süresi ise 60 dakika olarak tespit edilmiştir. BA için adsorpsiyon kapasitesi 99,158 mg/g, KBA için ise 99,752 mg/g olarak bulunmuştur. Sonuçlar, adsorpsiyon kapasitesinin artma eğiliminde olduğunu göstermiştir. Ayrıca, bu süreç yalancı ikinci dereceden denklem ve Freundlich izoterm modeli ile uyumlu bulunmuştur. Asit Mavi-113 boyar maddesinin adsorpsiyonunun kendiliğinden gerçekleşen ve ekzotermik bir süreç olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, Bor Endüstri Atığı, Acid Blue-113, Boyarmadde

INVESTIGATION OF THE USABILITY OF CHEMICALLY MODIFIED WASTE FROM THE BORON MINERAL ENRICHMENT PROCESS AS AN ADSORBENT FOR THE REMOVAL OF ACID BLUE-113 DYE FROM AQUEOUS SOLUTIONS

MSc. Yağmur Dilan SEVİL

Bursa Uludag University

yagmurdilanarslan@gmail.com /0009-0006-3237-4498

Prof. Dr. Asım OLGUN

Bursa Uludağ Üniversitesi

asimolgun@uludag.edu.tr / 0000-0002-0657-334X

ABSTRACT

This study investigates the removal of anionic Acid Blue-113 dye from aqueous solutions in batch and continuous systems using the waste (BW) generated from the beneficiation process of ulexite mineral. The effects of parameters such as pH, initial dye concentration, contact time and temperature on adsorption capacity were examined. Experimental results were evaluated using kinetic, thermodynamic, and isothermal analyses. It was determined that ABW has a higher dye removal capacity compared to BW. In the adsorption experiments, the optimal pH value was found to be 3, and the contact time was identified as 60 minutes. The adsorption capacity was determined as 99.158 mg/g for BW and 99.752 mg/g for ABW. The results indicated a trend of increasing adsorption capacity. Furthermore, the process was found to be consistent with the pseudo-second-order kinetic equation and the Freundlich isotherm model. It was concluded that the adsorption of Acid Blue-113 dye is a spontaneous and exothermic process.

Key words: Adsorption, Boron Industry Waste, Acid Blue-113, Dye

1. GİRİŞ

1.1. Bor Madeni

Dünyadaki bor madeni yataklarının %76'sı ülkemizde bulunmaktadır. Bu madenlerinde yaklaşık %63'ü Türkiye'nin batı bölgesindedir

Türkiyedeki bor madeni yatakları devlet kurumu olan Etibor A.Ş tarafından kontrol edilmektedir. Önemli bor cevherleri arasındaki üleksit, kolomanit ve tinkal ülkemizde bulunmaktadır.

Bu çalışma üleksit minerali zenginleştirme prosesinde açığa çıkan atıklar kullanılarak yapılmıştır.

1.2. Üleksit

Kimyasal formülü $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ olan üleksit minerali diğer bir isimle sodyum kalsiyum borat olarak bilinir.

Sodyum, su ve hidroksit içeren oktahedron yapılar sonsuz zincirler halinde birbirlerine bağlanmıştır. Bu zincirler kalsiyum, su, hidroksit, oksijen polihedraları ve temel bor birimleri ile birbirine bağlanır.

Temel bor birimi $\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_6$ formülüne ve negatif üç (-3) yüke sahiptir. Üç borat tetrahedron ve iki borat üçgen grubundan oluşur.

Sıcak suda az çözünür.

1.3. Zenginleştirme Prosesi

Türkiye, dünyanın en zengin bor yataklarına sahiptir. Ekonomik açıdan en önemli bor mineralleri olan boraks, kolemanit ve üleksit, ülkemizde geniş rezervlere sahiptir. Bu minerallerin işlenmesi sırasında konsantre bor üretimi, yıkama işlemleri sonrasında kil malzemelerin uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Cevher zenginleştirme tesislerinden çıkan atıklar genellikle ince boyutlu katı maddelerden oluşur ve bu atıklar, maden sahalarının yakınındaki alanlara veya atık barajlarına boşaltılmaktadır. Günümüzde, bu tür atıkların uygun şekilde bertaraf edilmesi üzerinde yoğun çalışmalar yürütülmektedir. Özellikle gelişmiş ülkelerde, araştırmacılar ve işletmeler bu konuda önemli çabalar harcamaktadır.

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak yeni yöntem ve ekipmanların geliştirilmesi, düşük tenörlü cevherlerin işlenebilirliğini artırırken, depolanmış atıkların da değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bor atıkları, bu süreçte en öne çıkan malzemelerden biridir. Bu nedenle bor atıklarının depolanmasına ve yönetimine büyük önem verilmelidir. Ayrıca, bu atıkların toplandığı göletlerin inşası, işletmeler için yüksek maliyetler oluşturmaktadır. Madencilik

faaliyetleri sırasında oluşan atık miktarının giderek artması, atık barajlarında biriken bor atıklarının sanayide değerlendirilmesi için gerekli araştırmaların yapılmasını ve ilgili endüstri dallarıyla ortak projelerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bor endüstrisi atıklarının yüksek kil içeriğine sahip olması ve özellikle Balıkesir-Bigadiç bölgesindeki bor yataklarında zeolit mineralinin bulunması, bu atıkların adsorpsiyon süreçlerinde adsorban malzeme olarak kullanılabilceğini göstermektedir. Balıkesir-Bigadiç bölgesinden elde edilen kolemanit ve üleksit zenginleştirme atıkları, belirli killer ve zeolit minerallerinden oluşmaktadır. Zeolit mineralleri, büyük yüzey alanı ve gözenekli yapısı sayesinde yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip etkili bir adsorban malzeme olarak öne çıkmaktadır.

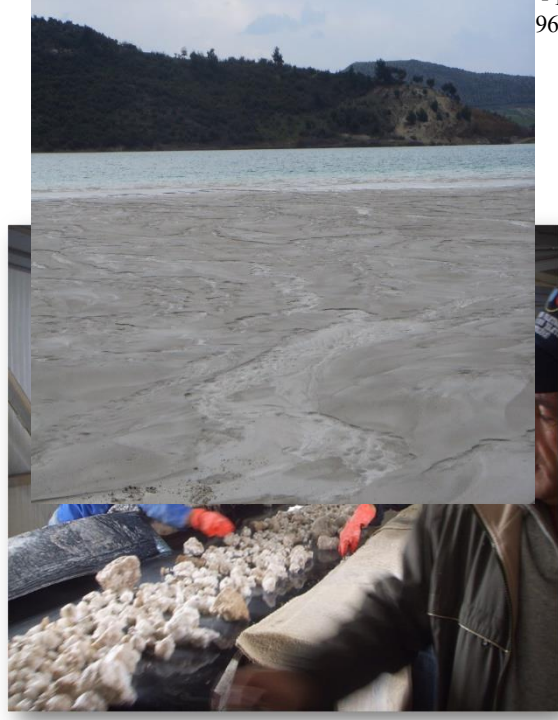


Görsel 25 Bor Madenleri





Görsel 26 Tavuklama Prosesi



**Görsel
27**

Zenginleştirme Prosesi

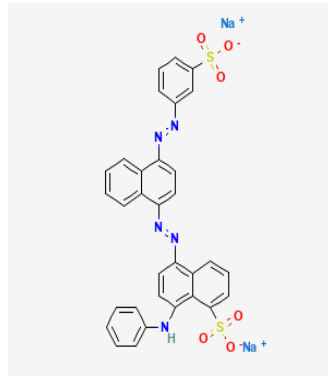
Görsel 28 Atıkların Depolandığı Yapay Göl

1.4. Acid Blue-113

Kimyasal adı Acid Blue-113 olan azo boyarmaddesinin kimyasal formülü $C_{32}H_{21}N_5O_6S_2Na_2$ şeklindedir. Molekül ağırlığı 681.65 g/mol, Λ_{max} ise 566 nm'dir.

Anyonik boyarmadde grubunda olan bu boya; yüksek fotovoltaj kararlılığı ve mikrobiyal bozulmalara karşı olan direnciyle tekstil sektöründe en çok kullanılan azo boyar maddelerden biridir. Aromatik halkalar ve azo bağı (N=N) bulunduran bu boya türü çevreye karşı oldukça dirençli ve kararlı olduğundan bozunmaz. Azo bağı memeliler (dolayısıyla insanlar) ve çeşitli mikroorganizmalar tarafından üretilen azo redüktaz enzimi tarafından parçalanır. Enzim, bileşende bulunan aminlerin salınımını hızlandırarak toksisite ve kanserojen etkiyi hızlandırır. Haricinde geniş su kütlelerine etki eden boya güneş ışığının suya olan geçirgenliğini azaltır. Bu durum sucul ortamdaki fotosentez sürecini etkiler ve çözülmüş oksijen konsantrasyonunu düşürür.

Boyarmaddeleri ve mikroorganizmaları içeren bu sular toksisiteleri ile atıldıkları ekosistemi tehdit ederler. Atıksular deşarj edilmeden yada yeniden kullanıma sunulmadan önce kirliliklerini belirli bir orana düşürmek için arıtılır.



Görsel 29 Acid Blue-113 Kimyasal Yapısı

1.5.Arıtma Teknolojisi

Atık su arıtma teknolojileri;

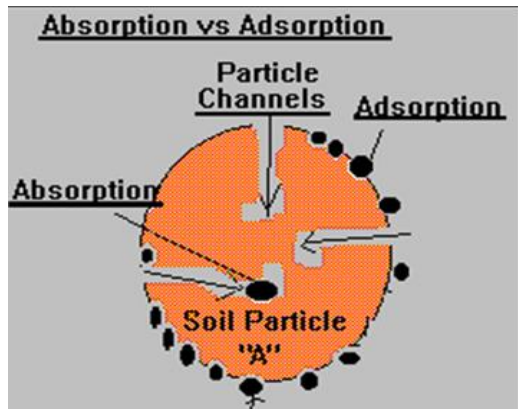
- Membran Sistemleri
- Adsorpsiyon Sistemleri
- Koagülasyon ve Flokülasyon Sistemi
- Kimyasal Oksidasyon
- Elektrokimyasal Sistemler
- Biyolojik Oksidasyon ve Redüksiyon Sistemleri olmak üzere sınıflandırılır.

Bu çalışma adsorpsiyon sistemi üzerine yapılmıştır.

1.6.Adsorpsiyon

Bir fazda bulunan iyon yada moleküllerin başka bir fazın yüzeyine tutunmasına adsorpsiyon denir.

En fazla kullanılan adsorban madde aktif karbondur. Ancak bu da oldukça maliyetlidir. Bu maliyet ve rejenerasyon sorunu araştırmacıları yeni adsorban malzeme arayışı içine sokmuştur.



Gö (a) a) Adsorpsiyon (b) Adsorpsiyon çeşitleri (b) si

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

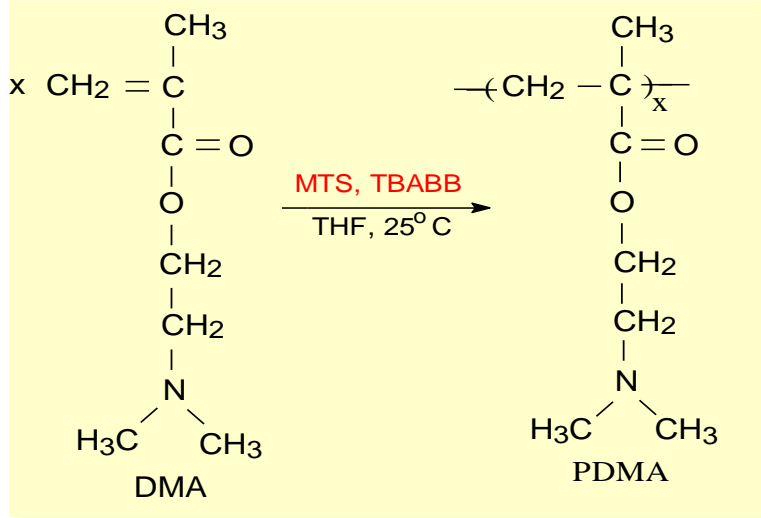
Deneylerde adsorban malzeme olarak Balıkesir Bigadiç Eti Maden İşletmesinden üleksit minerali zenginleştirme prosesi sırasında açığa çıkan kullanılmıştır. Atık, 63 µm elekten hiçbir kırma işlemi gerçekleştirilmeden ve 105 derecede iki saat kurutulduktan sonra analizlerde kullanılmıştır. Atığın analizi AXIOS-max model, PANalytical marka X-RF cihazıyla B₂O₃ analizi ise contrAA-300 model, Analitikjena marka AAS cihazıyla yapılmıştır.

Asit Mavi-113 boyar maddesi Sigma Aldrich'ten temin edilmiştir. Bu boyar madde kullanılarak 1000 ppm'lik çözelti stok hazırlanmıştır. Yapılan tüm analizler bu stok çözeltinin seyreltilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon çalışmalarında çözelti ortamında kalan boya konsantrasyonu maksimum dalga boyunda tespit edilmiştir. Deneylerde 0,1 M NaOH ve HCl kullanılarak pH ayarlanmıştır.

Bileşen	Kimyasal Analiz (%)
SiO ₂	30,0
Al ₂ O ₃	0,33
Fe ₂ O ₃	0,13
CaO	11,9
MgO	25,0
SO ₃	0,81
Na ₂ O	2,27
K ₂ O	0,06
B ₂ O ₃	12,23
Kızdırma kaybı	17,27

Çizelge 20 Bor Atığının Kimyasal Analizi

Bor atığının aktivasyonunu artırmak için aşağıdaki polimerle kaplanmıştır. Bor Atığı BA ; kimyasal olarak aktive edilen bor atığı KBA olarak adlandırılmıştır.



Görsel 31 Grup Transfer Polimerizasyon yöntemiyle poli[2-(N-dimetilamino)etil metakrilat] homopolimeri (PDMA) sentezi

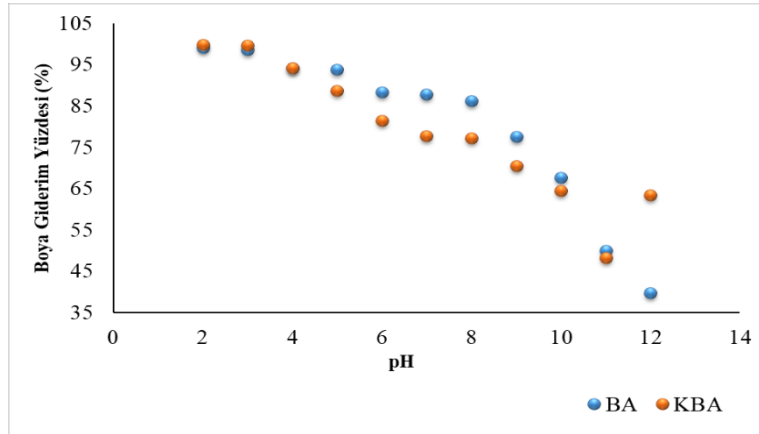
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışmalar kesikli sistemde yapılmıştır.

Bor atığının adsorpsiyon kapasitesi ; başlangıç konsantrasyonu etkisi, temas süresi, adsorban dozajı, optimum pH ve çözelti sıcaklığına bağlı olarak araştırılmıştır.

3.1. pH Etkisi

pH 2-12 arasında; adsorban madde ile çözelti hacmi sabit tutularak (boyar madde konsantrasyonu=50ppm adsorban miktarı=0,025 g) yapılan deneylerde, pH 3'te ($q_e=98,618\text{mg/g}$) maksimum adsorpsiyonun görüldüğü ve pH'ın artmasıyla adsorpsiyon kapasitesinin düştüğü gözlemlenmiştir.

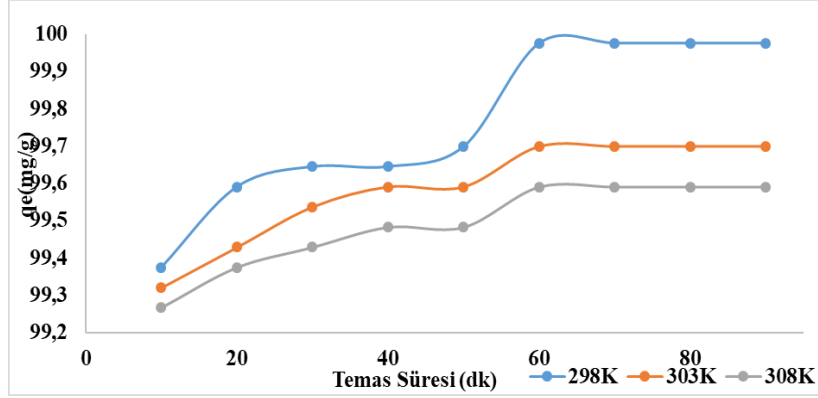


Görsel 32 pH etkisi

3.2. Temas Süresi

Kesikli sistem deneylerinde başlangıç boyarmadde konsantrasyonları her üç sıcaklık için 50 mg/L ve adsorban miktarları 0,025 g olarak sabitlenmiştir. Bu koşullar altında; 25°C, 30°C, ve 35 °C sıcaklıklarında 10 ila 90 dakika arasında çeşitli zaman aralıklarında adsorpsiyon gerçekleştirilmiştir.

Adsorpsiyon kapasitesindeki bu hızlı artış, başlangıçta adsorbanın adsorpsiyon için uygun çok sayıda boş adsorpsiyon merkezine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla beraber azalan q_e değerleri ; adsorpsiyon prosesinin ekzotermik olduğunu göstermektedir.

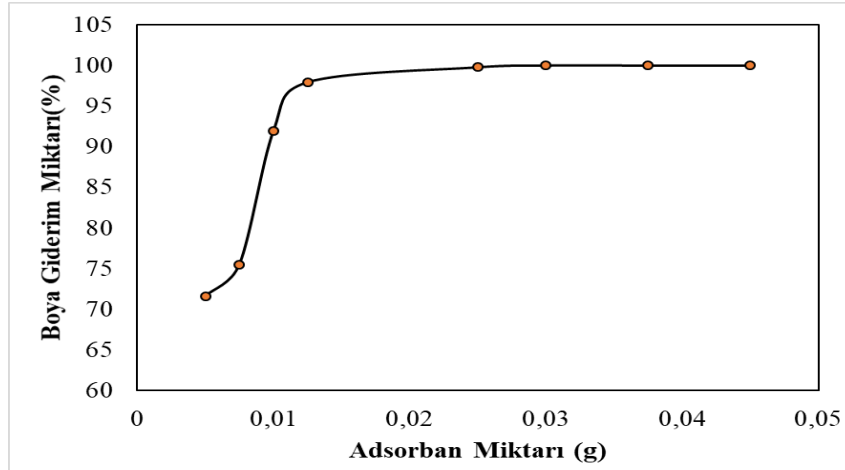


Görsel 33 AB-113 Boyarmaddesinin Çeşitli Sıcaklıklarda Bor Atığı Üzerine Adsorpsiyonunun Temas Süresine Bağlı Etkisi

3.3.Adsorban Miktarı

Her bir deneyde artırılan adsorban miktarıyla beraber adsorpsiyonda arttığı gözlemlenmektedir. Ancak 25 mg'dan itibaren adsorban miktarı artırılrsa dahi q_e değerlerinde dikkate değer bir artma görülmemiştir.

Bundan dolayı adsorban miktarı optimum nokta olarak 25 mg tayin edilmiştir

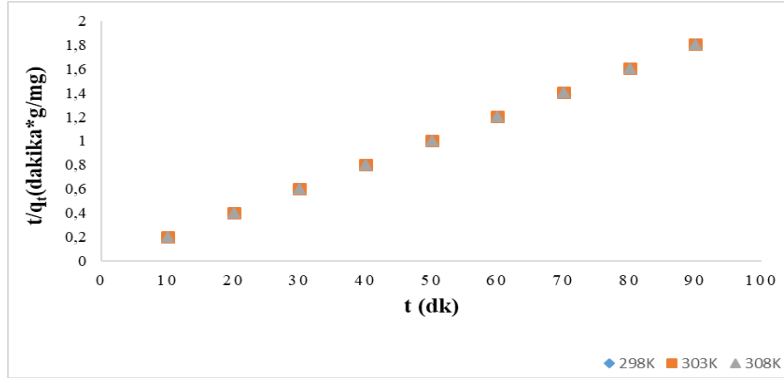


Görsel 34 Adsorban Miktarına Bağlı Boya Giderim Yüzdesi

3.4. Adsorpsiyon Kinetiği

AB-113 boyar maddesi 0,025 g olan optimum adsorban miktarı ile 25°C, 30°C ve 35°C'lerde kesikli sistemde kinetik çalışmalar yapılmıştır.

AB-113 boyar maddesinin R^2 değerinin yüksek olmasıyla ve deneysel verilerle hesaplanan verilerin birbirlerini desteklemesiyle sistemin yalancı ikinci dereceden denkleme uygunluğu görülmektedir.



Görsel 35 AB-113 Boyarmaddesi İçin 25°C, 30°C ve 35°C'lerde Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Modeli

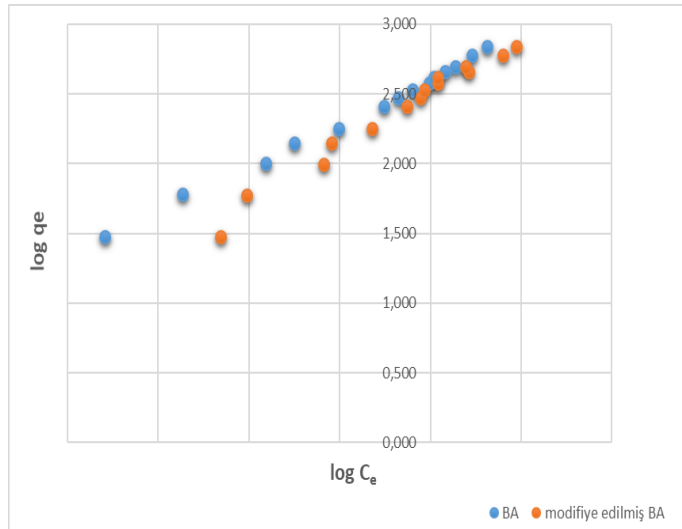
Adsorban + Boyarmadde	Sıcaklık (°C)	Yalancı Birinci Dereceden Model				Yalancı İkinci Dereceden Model			
		q ₁ (mol/g)	q _{den} (mol/g)	k ₁ (dk ⁻¹)	r ₁ ²	q ₂ (mol/g)	q _{den} (mol/g)	k ₂ (dk ⁻¹)	r ₂ ²
AB-113 + BA	25	4,97x10 ⁻²	4,99x10 ⁻²	3,89x10 ⁻⁵	0,7333	4,99x10 ⁻²	4,99x10 ⁻²	4,08x10 ⁻¹	0,999
	30	4,97x10 ⁻²	4,98x10 ⁻²	4,61x10 ⁻⁵	0,8516	4,99x10 ⁻²	4,98x10 ⁻²	3,10x10 ⁻¹	0,999
	35	4,96x10 ⁻²	4,98x10 ⁻²	3,98x10 ⁻⁵	0,8745	4,98x10 ⁻²	4,98x10 ⁻²	3,44x10 ⁻¹	0,999

Çizelge 21 AB-113 Boyarmaddesinin Kesikli Sistemde Farklı Sıcaklıklarda Adsorpsiyon Kinetiği için Parametreler

3.5.Adsorpsiyon İzotermi

AB-113 boyar maddesinin kesikli sistemde ; BA ve KBA kullanılarak Langmuir ve Freundlich izotermi modeli incelenmiştir. İzoterm modelleri 25°C’de pH 3’de sabit tutularak; 0,025 g adsorban ile 60 dakika temas süresi baz alınarak, 50 mg/L örneklerle kesikli sistemde çalışılmıştır.

Adsorpsiyon için en uygun modelin yüksek R^2 değeri (BA için 0,996 ; KBA için 0,981) ile Freundlich izotermi modeli olduğu görülmektedir. Adsorpsiyonun çok katmanlı ve heterojen yüzeyde gerçekleştiğini, $n>1$ olmasıyla adsorbanın boyar maddeyi kolaylıkla tuttuğunu göstermektedir. Şekil 12’de verilen C_e ’ye bağlı q_e grafiğindeki sürekli artışta bize adsorpsiyonun Freundlich izotermine uygunluğunu ispatlamaktadır.



Görsel 36 AB-113 Boyarmaddesinin BA ve KBA Üzerine Adsorpsiyonunun Freundlich Modeli

İzoterm Modeli		KBA	BA
Langmuir İzotermi	$q_{max}(\text{mol g}^{-1})$	2	0,400
	$Kl(\text{l mol}^{-1})$	$7,33 \times 10^5$	$2,708 \times 10$
	R^2	0,972	0,958
Freundlich izotermi	$Kf(\text{l mol}^{-1})$	0,402	0,328
	n	1,581	1,245
	R^2	0,996	0,981

Çizelge 22 İzoterm Modellerinin Hesaplamaları

3.6.Adsorpsiyon Termodinamiği

ΔG° değerinin negatif olması adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekteştiğini,
 ΔH° negatif olması adsorpsiyonun ekzotermik olduğunu,
 ΔS° değerinin negatif olması ile adsorpsiyon esnasında düzensizliğin azaldığını göstermektedir.

T(°K)	R ²	lnK _c	ΔG° (kJ/mol)	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (J/mol K)
298		5,78	-14,31		
303	0,997	5,56	-14,01	-35,40	-70,71
308		5,31	-13,60		

Çizelge 23 AB-113 Boyarmaddesinin Termodinamik Parametreleri

4. SONUÇLAR

Yapılan deneylerde, adsorpsiyon kapasitesinin başlangıç boyar madde derişimi, pH, temas süresi ve sıcaklığa bağılı olarak değiştiği gözlenmiştir.

DeneySEL verilerin yalancı ikinci dereceden kinetik modele ve Freundlich izoterm modeline uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca, sıcaklık artışıyla adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı ve adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır.

Minimum adsorban kullanımıyla maksimum kirleticinin uzaklaştırılmasını hedefleyen bu tür çalışmalar, bor endüstrisi atıklarının adsorban malzeme olarak değerlendirilmesine önemli katkılar sunmaktadır

KAYNAKÇA

- Al-Ghouti, Mohammad A, and Dana A Da'ana. 2020.** “Guidelines for the Use and Interpretation of Adsorption Isotherm Models: A Review.” *Journal of Hazardous Materials* 393: 122383.
- Al-Musawi, Tariq J, Nezamaddin Mengelizadeh, Orabi Al Rawi, and Davoud Balarak. 2022.** “Capacity and Modeling of Acid Blue 113 Dye Adsorption onto Chitosan Magnetized by Fe₂O₃ Nanoparticles.” *Journal of Polymers and the Environment* 30(1): 344–59.
- Ali, Imran, and V K Gupta. 2006.** “Advances in Water Treatment by Adsorption Technology.” *Nature Protocols* 1(6): 2661–67.
- Atar, Necip, and Asim Olgun. 2007a.** “Removal of Acid Blue 062 on Aqueous Solution Using Calcinated Colemanite Ore Waste.” *Journal of Hazardous Materials* 146(1): 171–79.
- Atar, Necip, and Asim Olgun. 2007b.** “Removal of Acid Blue 062 on Aqueous Solution Using Calcinated Colemanite Ore Waste.” *Journal of Hazardous Materials* 146(1–2): 171–79.
- Atar, Necip, and Asim Olgun. 2009.** “Removal of Basic and Acid Dyes from Aqueous Solutions by a Waste Containing Boron Impurity.” *Desalination* 249(1): 109–15.
- Atar, Necip, Asim Olgun, and Shaobin Wang. 2012.** “Adsorption of Cadmium (II) and Zinc (II) on Boron Enrichment Process Waste in Aqueous Solutions: Batch and Fixed-Bed System Studies.” *Chemical Engineering Journal* 192: 1–7.
- Atar, Necip, Asim Olgun, Shaobin Wang, and Shaomin Liu. 2011.** “Adsorption of Anionic Dyes on Boron Industry Waste in Single and Binary Solutions Using Batch and Fixed-Bed Systems.” *Journal of Chemical & Engineering Data* 56(3): 508–16.
- Bazrafshan, Edris, Mohammad Reza Alipour, and Amir Hossein Mahvi. 2016.** 57 *Desalination and Water Treatment Textile Wastewater Treatment by Application of Combined Chemical Coagulation, Electrocoagulation, and Adsorption Processes.* Taylor & Francis.
- Benkhaya, Said, Souad M'rabet, and Ahmed El Harfi. 2020.** “Classifications, Properties, Recent Synthesis and Applications of Azo Dyes.” *Heliyon* 6(1).
- Cardoso, Natali F, Rodrigo B Pinto, Eder C Lima, Tatiana Calvete, Camila V Amavisca, Betina Royer, Marta L Cunha, Thais H M Fernandes, and Isis S Pinto. 2011.** “Removal of Remazol Black B Textile Dye from Aqueous Solution by Adsorption.” *Desalination* 269(1): 92–103.

Chacko, Joshni, and Subramaniam Kalidass. 2014. “Enzymatic Degradation of Azo Dyes – A Review Enzymatic Degradation of Azo Dyes – A Review.” *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 1(January 2011): 1250–60.

Çolak, Ferdağ, Necip Atar, and Asim Olgun. 2009. “Biosorption of Acidic Dyes from Aqueous Solution by *Paenibacillus Macerans*: Kinetic, Thermodynamic and Equilibrium Studies.” *Chemical Engineering Journal* 150(1): 122–30.

Ebrahimzadeh, Salma, Bas Wols, Arianna Azzellino, Bram J Martijn, and Jan Peter van der Hoek. 2021. “Quantification and Modelling of Organic Micropollutant Removal by Reverse Osmosis (RO) Drinking Water Treatment.” *Journal of Water Process Engineering* 42: 102164.

Gouda, Mohamed, Hisham A Mohamed, Manal F Abou Taleb, and Nashi K Alqahtani. 2024. “Antimicrobial Zinc Oxide/Polymer Nanocomposites for the Removal of Toxic Textile Dye.” *Cellulose*.

Gupta, Vinod Kumar, Shilpi Agarwal, Asim Olgun, Halil İbrahim Demir, Mehmet Lütfi Yola, and Necip Atar. 2016. “Adsorptive Properties of Molasses Modified Boron Enrichment Waste Based Nanoclay for Removal of Basic Dyes.” *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 34: 244–49.

Kalam, Shams, Sidqi A Abu-Khamsin, Muhammad Shahzad Kamal, and Shirish Patil. 2021. “Surfactant Adsorption Isotherms: A Review.” *ACS Omega* 6(48): 32342–48.

Katheresan, Vanitha, Jibrail Kannedo, and Sie Yon Lau. 2018. “Efficiency of Various Recent Wastewater Dye Removal Methods: A Review.” *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6(4): 4676–97.

Kord Mostafapour, Ferdos, Razieh Zolghadr, Morteza Khodadadi Saloot, Amir Hossein Mahvi, Davoud Balarak, and Elham Safari. “Removal of Acid Blue 113 from Aqueous Medium Using a Novel Magnetic Adsorbent Derived from Activated Carbon Fiber.” *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*: 1–16.

Lin, Sheng H, and Chi F Peng. 1994. “Treatment of Textile Wastewater by Electrochemical Method.” *Water Research* 28(2): 277–82.

Musah, Monday, Yakubu Azeh, John Mathew, Musa Umar, Zulaihat Abdulhamid, and Aishetu Muhammad. 2022. “Adsorption Kinetics and Isotherm Models: A Review.” *Caliphate Journal of Science and Technology* 4(1): 20–26.

Olgun, A, and N Atar. 2011. “Removal of Copper and Cobalt from Aqueous Solution onto Waste Containing Boron Impurity.” *Chemical Engineering Journal* 167(1):

Olgun, Asim, and Necip Atar. 2009. “Equilibrium and Kinetic Adsorption Study of Basic Yellow 28 and Basic Red 46 by a Boron Industry Waste.” *Journal of Hazardous Materials* 161(1): 148–56.

Olgun, Asim, and Necip Atar. 2012. “Equilibrium, Thermodynamic and Kinetic Studies for the Adsorption of Lead (II) and Nickel (II) onto Clay Mixture Containing Boron Impurity.” *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 18(5): 1751–57.

Olgun, Asim, Necip Atar, and Shaobin Wang. 2013. “Batch and Column Studies of Phosphate and Nitrate Adsorption on Waste Solids Containing Boron Impurity.” *Chemical Engineering Journal* 222: 108–19.

Özdemir, Y. 2005. “Katyonik Boyar Maddelerin Sepiyolit Yüzeyinde Adsorpsiyonu ve Adsorpsiyon Kinetiği.”

Pourali, Peyman, Malaek Behzad, Hossein Arfaenia, Ali Ahmadfazeli, Shirin Afshin, Yousef Poureshgh, and Yousef Rashtbari. 2021. “Removal of Acid Blue 113 from Aqueous Solutions Using Low-Cost Adsorbent: Adsorption Isotherms, Thermodynamics, Kinetics and Regeneration Studies.” *Separation Science and Technology* 56(18): 3079–91.

Qiu, Hui, Lu Lv, Bing-cai Pan, Qing-jian Zhang, Wei-ming Zhang, and Quan-xing Zhang. 2009. “Critical Review in Adsorption Kinetic Models.” *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A* 10(5): 716–24.

Semerjian, L, and G M Ayoub. 2003. “High-PH–Magnesium Coagulation–Flocculation in Wastewater Treatment.” *Advances in Environmental Research* 7(2): 389–403.

da Silva, Luiz Thiago Vasconcelos, André Gadelha de Oliveira, Jefferson Pereira Ribeiro, Amanda Fonseca Lopes, Rouse da Silva Costa, Eliezer Fares Abdala Neto, Tecia Vieira Carvalhod, et al. 2024. “Electrocoagulation Cell for the Production of Hydrogen without Carbon Emission and Simultaneous Treatment of Textile Wastewater.” *International Journal of Hydrogen Energy* 64: 906–13.

Simonin, Jean-Pierre. 2016. “On the Comparison of Pseudo-First Order and Pseudo-Second Order Rate Laws in the Modeling of Adsorption Kinetics.” *Chemical Engineering Journal* 300: 254–63. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.04.079>.

Targan, Ş, A Olgun, Y Erdogan, and V Sevinc. 2002. “Effects of Supplementary Cementing Materials on the Properties of Cement and Concrete.” *Cement and Concrete Research* 32(10): 1551–58.

Üçüncü, Osman. 2019. “Atıksu Arıtımı, Atıksu Deşarjı, Su Kirliliği ve Halk Sağlığı: Trabzon İli Örneği TT - Wastewater Treatment, Wastewater Discharge and Water Pollution; The Case Study of Trabzon Province.” *Türk Hidrolik Dergisi* 3(2): 14–29.

Wang, Jianlong, and Xuan Guo. 2020. “Adsorption Isotherm Models: Classification, Physical Meaning, Application and Solving Method.” *Chemosphere* 258: 127279.

Xie, Shijie. 2024. “Biosorption of Heavy Metal Ions from Contaminated Wastewater: An Eco-Friendly Approach.” *Green Chemistry Letters and Reviews* 17(1): 2357213.

Yılmaz, Bülent, and Asim Olgun. 2008. “Studies on Cement and Mortar Containing Low-Calcium Fly Ash, Limestone, and Dolomitic Limestone.” *Cement and Concrete Composites* 30(3): 194–201.

STRATEJİK YÖNETİM: UYGULAMALI BİLİMLERDE ÇEVRESEL VE TOPLUMSAL DÖNÜŞÜM

Doç. Dr. Demet DÖNMEZ

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümü
demetdonmez@osmaniye.edu.tr- ORCID ID: 0000-0002-5833-9088

ÖZET

Bu bildiri, sürdürülebilir stratejik yönetimin uygulamalı bilimlerde çevresel ve toplumsal dönüşüm üzerindeki etkilerini ele almaktadır. Çalışmada, stratejik yönetim yaklaşımlarının sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda nasıl şekillendiği ve uygulamalı bilimlerin bu süreçteki rolü incelenmektedir. Çevresel sorunlara yenilikçi çözümler geliştirme ve toplumsal faydayı artırma amacıyla sürdürülebilir stratejik yönetimin önemi vurgulanmaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji, kaynak yönetimi, ekosistem koruması ve sosyal eşitlik gibi temel alanlarda stratejik planlama süreçlerinin etkileri değerlendirilmektedir. Çalışma, çevresel ve toplumsal dönüşümde stratejik yönetim ile uygulamalı bilimlerin entegrasyonunun, geleceğin sürdürülebilir politikaları için bir yol haritası sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, stratejik yönetim, çevresel dönüşüm, toplumsal dönüşüm, uygulamalı bilimler

(Strategic Management: Environmental And Social Transformation in Applied Sciences)

ABSTRACT

This paper examines the impact of sustainable strategic management on environmental and social transformation in applied sciences. The study explores how strategic management approaches are shaped in line with sustainable development goals and the role of applied sciences in this process. The importance of sustainable strategic management in developing innovative solutions to environmental challenges and enhancing social benefits is emphasized. Additionally, the effects of strategic planning processes in key areas such as renewable energy, resource management, ecosystem protection, and social equity are evaluated. The study highlights how the integration of strategic management and applied sciences in environmental and social transformation provides a roadmap for future sustainable policies.

Keywords: Sustainability, strategic management, environmental transformation, social transformation, applied sciences

1. GİRİŞ

Günümüzün dinamik ve hızlı değişen iş dünyasında, stratejik yönetim kavramı, işletmelerin sürdürülebilir başarısını sağlamak için kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle uygulamalı bilimler alanında faaliyet gösteren kurumlar için çevresel ve toplumsal dönüşümler, stratejik planlamanın merkezinde yer almaktadır. Bu makale, stratejik yönetimin uygulamalı bilimlerde çevresel ve toplumsal dönüşümlere nasıl entegre edilebileceğini ve bu entegrasyonun işletmeler üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır.

Stratejik yönetimin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için etkili liderliğin önemi büyüktür. Liderler, vizyon oluşturma, değişimi yönetme ve organizasyon içinde yenilikçiliği teşvik etme konularında kritik bir rol oynarlar. Uygulamalı bilimlerde faaliyet gösteren liderlerin, çevresel ve toplumsal sorumlulukları göz önünde bulundurarak stratejik kararlar almaları gerekmektedir. Bu bağlamda, liderlerin sürdürülebilirlik odaklı yaklaşımlar geliştirmeleri ve bu yaklaşımları organizasyon kültürüne entegre etmeleri büyük önem taşımaktadır. Stratejik yönetim, yalnızca organizasyon içi hedeflere ulaşmayı değil, aynı zamanda küresel dinamiklere uyum sağlamayı da içerir. İklim değişikliği, hızlanan dijitalleşme ve artan toplumsal eşitsizlikler gibi küresel faktörler, işletmelerin sürdürülebilirlik ve toplumsal sorumluluk odaklı stratejiler geliştirmelerini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, stratejik yönetim, organizasyonların çevresel ve toplumsal dönüşümleri dikkate alarak rekabet avantajını koruma becerisini belirler.

Türkiye gibi gelişmekte olan ekonomilerde stratejik yönetim, ekonomik dalgalanmalar, teknolojik dönüşüm ve artan çevresel regülasyonlar gibi faktörlerle şekillenmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) son raporları, büyük ölçekli işletmelerin stratejik yönetim süreçlerinde veri analitiği ve yenilikçi araçlardan daha fazla yararlanmaya başladığını, ancak KOBİ'lerin bu süreçlerde hala eksik kaldığını göstermektedir. Bu durum, ülke genelinde stratejik yönetim yaklaşımlarının daha kapsayıcı bir şekilde ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Küresel iklim krizi ve artan göç hareketleri, stratejik yönetimin toplumsal ve çevresel boyutlarını daha da önemli hale getirmiştir. Özellikle Türkiye'de, hızla kentleşen nüfusun altyapı üzerindeki baskısı ve mülteci entegrasyonu, işletmelerin stratejik planlamalarında önemli bir yer tutmaktadır. Bu dönüşümler, sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda stratejik yönetim yaklaşımlarının yeniden yapılandırılmasını gerektirmektedir.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

Stratejik yönetim, kaynakların etkin ve verimli kullanımı yoluyla organizasyonun hedeflerine ulaşmasını sağlayan bir dizi süreçtir. Uygulamalı bilimler bağlamında, bu süreçler çevresel ve toplumsal faktörlerin dikkate alınmasını gerektirir. Kuramsal olarak, Porter's Five Forces, SWOT analizi ve Balanced Scorecard gibi stratejik yönetim modelleri, işletmelerin çevresel ve toplumsal dinamikleri analiz etmelerine ve buna uygun stratejiler geliştirmelerine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, paydaş teorisi ve kurumsal sosyal sorumluluk (CSR) kavramları, stratejik yönetimin toplumsal boyutunu anlamada temel taşlar olarak öne çıkmaktadır. Stratejik yönetim süreçlerini anlamada sistem teorisi önemli bir çerçeve sunar. Bu teoriye göre, organizasyonlar birbiriyle etkileşim halindeki alt

sistemlerden oluşan açık sistemlerdir. Çevresel faktörlerin sürekli değiştiği bir ortamda, organizasyonların dış çevreden gelen girdilere uyum sağlaması ve stratejik esneklik geliştirmesi hayati önem taşır. Uygulamalı bilimler bağlamında, sistem teorisi, çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal sorumluluk hedeflerinin stratejik planlara entegre edilmesine yönelik bir rehber sunmaktadır. Kaynak tabanlı görüş, organizasyonların rekabet avantajını, sahip oldukları değerli, nadir, taklit edilemeyen ve örgütsel olarak desteklenen kaynaklar üzerinden elde ettiğini savunur. Çevresel ve toplumsal dönüşümlere karşı organizasyonların entelektüel sermaye, yenilikçilik kapasitesi ve sürdürülebilirlik odaklı teknolojilere yatırım yapması, stratejik yönetimde RBV'nin önemini artırmaktadır. Türkiye'de yenilenebilir enerji projeleri ve dijitalleşme süreçleri bu yaklaşımın uygulama alanlarına örnek olarak gösterilebilir.

Michael Porter'ın rekabet stratejileri modeli, işletmelerin sektörel dinamikleri ve değer zinciri aktivitelerini dikkate alarak stratejik kararlar geliştirmesine odaklanır. Değer zinciri analizi, organizasyonların her bir faaliyet adımında nasıl değer yarattıklarını incelemelerini sağlar. Çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal etki hedeflerini stratejik yönetim süreçlerine entegre etmek, bu faaliyetlerin daha verimli ve etkili bir şekilde yapılandırılmasına olanak tanır.

Küreselleşen dünyada, stratejik yönetim, yerel ve uluslararası dinamiklerin uyum içinde ele alınmasını gerektirir. Küresel strateji yaklaşımları, işletmelerin hem uluslararası pazarlarda rekabet avantajı elde etmelerine hem de yerel pazarlara özgü stratejiler geliştirmelerine olanak tanır. Türkiye, stratejik konumu sayesinde hem Avrupa hem de Asya pazarlarına erişim sağlayan bir merkezdir. Ancak, uluslararası rekabette yerel dinamiklerin dikkate alınması gerekliliği, stratejik yönetim sürecini karmaşıklaştırmaktadır.

Stratejik yönetimin bir diğer önemli boyutu, değişim yönetimi ve adaptasyon süreçleridir. John Kotter'ın değişim yönetimi modeli, organizasyonların çevresel ve toplumsal değişimlere adapte olurken izlemesi gereken sekiz aşamalı bir yol haritası sunar. Belirsizlik ve kriz dönemlerinde stratejik esneklik kazanmak, uygulamalı bilimlerde faaliyet gösteren organizasyonlar için kritik bir başarı faktörüdür. Türkiye'de pandemi sonrası dijital dönüşüm süreçleri, bu modelin uygulanabilirliğine iyi bir örnek teşkil etmektedir. Stratejik yönetim süreçlerini anlamada sistem teorisi, organizasyonları birer açık sistem olarak ele alır. Katz ve Kahn (1978), organizasyonların çevreden girdiler alarak, bu girdileri çıktı haline dönüştürdüklerini ve dış çevreye yeniden entegre ettiklerini belirtmiştir. Bu teori, çevresel ve toplumsal dönüşümlerin stratejik yönetim süreçlerine entegrasyonunda önemli bir çerçeve sunar. Türkiye'de yenilenebilir enerji projeleri gibi sürdürülebilir girişimler, sistem teorisinin pratik uygulamalarına örnek teşkil etmektedir.

Barney (1991) tarafından geliştirilen Kaynak Tabanlı Görüş (RBV), organizasyonların rekabet avantajını, sahip oldukları nadir ve taklit edilemez kaynaklar üzerinden elde ettiğini vurgular. Örneğin, Türkiye'deki teknoloji girişimlerinin yapay zekâ ve büyük veri teknolojilerine yatırım yapması, bu kaynakların stratejik değerini artırmaktadır. OECD'nin 2023 Küresel İnovasyon Raporu'na göre, bu

tür yenilikçi yatırımlar, organizasyonların çevresel ve toplumsal hedeflere ulaşma yeteneğini güçlendirmektedir.

Porter (1980), organizasyonların sektörel dinamiklere göre rekabet stratejileri geliştirmesi gerektiğini savunur. Türkiye’de özellikle tekstil ve otomotiv sektörlerinde rekabet avantajı sağlamak için değer zinciri analizi kullanılmaktadır. Örneğin, Türkiye’nin Avrupa pazarına hızlı teslimat avantajı sağlaması, stratejik yönetimde Porter’ın teorilerinin uygulanabilirliğini göstermektedir (TÜİK, 2023).

John Kotter (1996) tarafından önerilen sekiz aşamalı değişim yönetimi modeli, organizasyonların çevresel ve toplumsal dönüşümlere nasıl adapte olabileceklerini detaylandırır. Türkiye’de pandemi sonrası dijitalleşme süreçleri bu modelin önemini ortaya koymuştur. Deloitte (2023) İnsan Kaynakları Trendleri Raporu, dijital dönüşüme adapte olan işletmelerin verimliliklerini %45 oranında artırdığını belirtmektedir.

BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (UN, 2015), stratejik yönetim süreçlerinde sürdürülebilirliğin önemini vurgulamaktadır. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarını artırarak bu hedeflere uyum sağlamaktadır. Örneğin, Türkiye’de rüzgar ve güneş enerjisi projeleri, enerji sektöründeki sürdürülebilir dönüşümün bir parçasıdır (IEA, 2023).

3. ANALİZ

Uygulamalı bilimler alanında faaliyet gösteren işletmelerin çevresel ve toplumsal dönüşümler karşısında nasıl stratejik yaklaşımlar benimsediği incelenmiştir. Yapılan analizler, sürdürülebilirlik stratejilerinin işletmelerin rekabet avantajını artırmada önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca, toplumsal sorumluluk projelerinin marka değerini yükselttiği ve müşteri sadakatini güçlendirdiği belirlenmiştir. Çevresel yönetim uygulamaları ise, işletmelerin yasal düzenlemelere uyum sağlamasını ve kaynak verimliliğini artırmasını sağlamaktadır. Dijitalleşme, işletmelerin operasyonel verimliliği artırırken müşteri deneyimlerini iyileştirmesi açısından stratejik yönetimde belirleyici bir faktör olmuştur. Türkiye’de 2023 itibarıyla e-ticaret hacmi %30 artış göstererek 580 milyar TL’ye ulaşmıştır (TÜİK, 2023). Bu büyüme, dijital dönüşüm projelerine yatırım yapan işletmelerin, stratejik yönetim süreçlerinde rekabet avantajı elde ettiğini göstermektedir. Ancak, KOBİ’lerin yalnızca %28’inin dijitalleşme projelerine yatırım yaptığı belirtilmektedir (Deloitte, 2023).

Türkiye’nin yenilenebilir enerji üretimindeki artış, sürdürülebilirlik odaklı stratejilerin ekonomik büyümeye katkısını gözler önüne sermektedir. 2023 itibarıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji üretimindeki payı %54’e ulaşmıştır (IEA, 2023). Özellikle güneş ve rüzgar enerjisi projeleri, enerji maliyetlerini düşürerek sanayi sektöründe önemli avantajlar sağlamıştır. Ancak, enerji yoğun sektörlerde karbon emisyonlarının azalması beklenirken, aksine artış gösterdiği görülmektedir.

Türkiye, 4 milyonun üzerindeki mülteci nüfusuyla toplumsal dönüşümün yoğun olarak yaşandığı bir ülke konumundadır. Bu durum, iş gücü piyasasında yeni fırsatlar yaratırken aynı zamanda entegrasyon zorluklarını da beraberinde getirmiştir. Çalışan çeşitliliğini artıran işletmelerin, inovasyon

kapasitelerini %35 oranında yükselttiği belirlenmiştir (UNESCO, 2023). Ancak, bu fırsatların etkin değerlendirilebilmesi için daha kapsayıcı iş gücü politikalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Türkiye, küresel ekonomik dalgalanmalar karşısında dirençli stratejiler geliştirmek zorundadır. IMF'nin 2023 raporuna göre, küresel ekonomik büyüme oranı %2,9'a gerilerken, Türkiye'nin büyüme oranı %4 civarında kalmıştır. Bu durum, ihracat odaklı stratejilerin önemini ortaya koymaktadır. Ancak, iç piyasaya bağımlı sektörlerin döviz dalgalanmalarından olumsuz etkilendiği ve stratejik esneklik geliştirme gerekliliği açıkça görülmektedir.

Sosyal sorumluluk projelerine yatırım yapan işletmelerin toplum nezdindeki güvenilirliklerinin %68 oranında arttığı tespit edilmiştir (Edelman Trust Barometer, 2023). Türkiye'de Sabancı Holding'in "Sıfır Atık Projesi", sosyal sorumluluk stratejilerinin başarılı bir örneği olarak öne çıkmaktadır. Ancak, KOBİ'lerin yalnızca %12'sinin aktif olarak sosyal sorumluluk projelerinde yer aldığı belirtilmiştir. Bu durum, toplumsal fayda ve rekabet avantajını artırmak için daha geniş kapsamlı uygulamaların gerekliliğini göstermektedir.

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Stratejik yönetim, uygulamalı bilimlerde çevresel ve toplumsal dönüşümlerin etkin bir şekilde yönetilmesi için vazgeçilmez bir araçtır. İşletmelerin, sürdürülebilirlik odaklı stratejiler geliştirerek hem çevresel hem de toplumsal sorumluluklarını yerine getirmeleri, uzun vadeli başarının anahtarıdır. Etkili liderlik ve kuramsal çerçevelerin doğru kullanımı, bu stratejilerin başarılı bir şekilde uygulanmasını desteklemektedir. Dijital dönüşüm projelerine yatırım yapan işletmelerin operasyonel verimliliği ve müşteri memnuniyeti artırdığı gözlemlenmiştir. Deloitte'un (2023) raporuna göre, dijitalleşen işletmelerin finansal performanslarında %45'e varan artışlar kaydedilmiştir. Ancak, Türkiye'de KOBİ'lerin yalnızca %28'inin bu dönüşüme yatırım yaptığı, dijitalleşme süreçlerinde ciddi bir eşitsizlik olduğunu göstermektedir.

Yenilenebilir enerji projeleri, Türkiye'de ekonomik büyümeye önemli katkılar sağlamaktadır. IEA'nın (2023) raporuna göre, yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji üretimindeki payı %54'e ulaşmıştır. Özellikle güneş ve rüzgar enerjisi projeleri, sanayide enerji maliyetlerini düşürerek rekabet avantajı sağlamaktadır.

Türkiye'de 4 milyonun üzerinde mülteci nüfusu, iş gücü piyasasında çeşitlilik yaratmıştır. UNESCO (2023), çok kültürlü ekiplerin inovasyon kapasitesini %35 oranında artırdığını belirtmektedir. Ancak, mültecilerin iş gücüne entegrasyon süreçlerinde yaşanan zorluklar, işletmelerin bu fırsatı tam anlamıyla değerlendirememesine yol açmaktadır.

Türkiye, küresel ekonomik dalgalanmalara karşı ihracat odaklı stratejiler geliştirmektedir. IMF (2023) raporuna göre, Türkiye'nin ihracat oranında %12'lik bir artış kaydedilmiştir. Ancak, iç piyasaya

bağımlı sektörlerin döviz dalgalanmalarından daha fazla etkilendiği ve krizlere karşı hazırlıksız olduğu görülmektedir.

Sosyal sorumluluk projeleri, şirketlerin toplum nezdinde güvenilirliklerini artırmaktadır. Edelman Trust Barometer (2023), sosyal sorumluluk projelerine yatırım yapan şirketlerin toplum nezdindeki güven oranlarının %68 daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, KOBİ'lerin yalnızca %12'si aktif olarak sosyal sorumluluk projelerinde yer almaktadır.

Dijital dönüşüm, işletmelerin rekabet avantajını sürdürülebilir kılmada kritik bir rol oynamaktadır. Türkiye'de KOBİ'lerin dijitalleşme oranlarının artırılması için devlet destekleri ve eğitim programlarının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Özellikle kırsal bölgelerdeki işletmelere yönelik teşvikler, bu eşitsizliğin azaltılmasında etkili olacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam üretimdeki payının artırılması olumlu bir gelişme olarak değerlendirilmektedir. Ancak, sanayi sektörlerinde sürdürülebilir üretim uygulamalarının benimsenme oranı hala düşüktür. Özellikle enerji yoğun sektörlerde karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik politikaların daha etkin bir şekilde uygulanması gerekmektedir.

Göç dinamiklerinin iş gücü piyasasına olumlu etkileri göz önüne alındığında, işletmelerin daha kapsayıcı politikalar geliştirmesi gerekmektedir. Bu durum, yalnızca ekonomik fayda sağlamakla kalmayıp, toplumsal uyumu artıracak stratejilerin geliştirilmesini de gerekli kılmaktadır.

Küresel ekonomik dalgalanmalar, işletmelerin daha esnek ve uyarlanabilir stratejiler geliştirmesini zorunlu kılmaktadır. Türkiye'de risk yönetimi süreçlerinin geliştirilmesi ve kriz senaryolarına dayalı stratejik planlamaların yaygınlaştırılması, işletmelerin dayanıklılığını artıracaktır.

KOBİ'lerde sosyal sorumluluk bilincinin artırılması, işletmelerin topluma olan katkılarını ve marka değerlerini güçlendirecektir. Bu alanda, büyük ölçekli şirketlerin örnek uygulamaları temel alınarak, daha küçük işletmelere yönelik rehberlik ve teşvik mekanizmaları oluşturulmalıdır..

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Araştırmalar, çevresel ve toplumsal stratejilerin işletmelerin rekabet gücünü artırdığını ve sürdürülebilir büyümeyi desteklediğini ortaya koymaktadır. Özellikle, yenilikçi çevresel çözümler geliştiren işletmelerin maliyet avantajı sağladığı ve pazar paylarını genişlettiği görülmüştür. Toplumsal sorumluluk projelerine yatırım yapan işletmeler ise, toplum nezdinde pozitif bir imaj oluşturarak müşteri ve paydaş güvenini kazanmaktadır. Stratejik yönetimin çevresel ve toplumsal boyutları, işletmelerin uzun vadeli başarısını etkileyen kritik faktörlerdir. Bu bağlamda, işletmelerin stratejik planlama süreçlerinde sürdürülebilirlik kriterlerini ön planda tutmaları gerekmektedir. Ancak, bu stratejilerin başarılı olabilmesi için organizasyon içi dirençlerin aşılması ve tüm paydaşların sürece dahil edilmesi önemlidir. Ayrıca, çevresel ve toplumsal dönüşümlerin hızla değiştiği göz önüne alındığında, stratejik yönetim süreçlerinin esnek ve adaptif olması gerekmektedir

Stratejik yönetim süreçlerinin sürdürülebilirlik ilkeleri ile bütünleştirilmesi, uzun vadeli rekabet avantajı sağlamak için kritik bir gerekliliktir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji projelerindeki artış ve sürdürülebilir üretim uygulamaları, bu entegrasyonun olumlu sonuçlarını göstermektedir. Ancak, enerji yoğun sektörlerde karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik çabaların daha etkin hale getirilmesi gerekmektedir.

Dijital dönüşüm, işletmelerin verimliliklerini artırırken aynı zamanda müşteri beklentilerini karşılamalarını sağlamaktadır. Türkiye'de dijitalleşme oranları büyük ölçekli işletmelerde yükselirken, KOBİ'lerin bu alanda geri kalması dikkat çekicidir. Bu durum, dijitalleşmeye yönelik teşvik mekanizmalarının geliştirilmesini ve daha kapsayıcı politikaların benimsenmesini gerektirmektedir. Türkiye, göç dinamiklerinden kaynaklanan toplumsal dönüşüm süreçlerini etkin bir şekilde yönetmek zorundadır. İş gücü piyasasındaki çeşitlilik, işletmeler için fırsatlar sunarken aynı zamanda entegrasyon zorluklarını da beraberinde getirmektedir. Kapsayıcı iş gücü politikaları, hem ekonomik fayda sağlamakta hem de toplumsal uyumun artırılmasına katkıda bulunmaktadır.

Küresel ekonomik dalgalanmalar, işletmelerin stratejik yönetim süreçlerinde esneklik ve adaptasyon yeteneğini artırmalarını zorunlu kılmaktadır. Türkiye'nin ihracat odaklı büyüme stratejileri olumlu sonuçlar verirken, iç piyasaya bağımlı sektörlerin krizlere karşı daha savunmasız olduğu görülmektedir. Sosyal sorumluluk projeleri, işletmelerin toplum nezdinde itibarlarını artırmalarına olanak tanımaktadır. Ancak, Türkiye'de KOBİ'lerin bu tür projelere katılım oranının düşük olması, toplumsal katkıyı sınırlamaktadır. Büyük ölçekli şirketlerin iyi uygulama örnekleri, bu açığı kapatmada rehber olarak kullanılabilir.

Türkiye'nin enerji sektöründeki yenilenebilir kaynaklara dayalı yatırımları, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Ancak, sanayi sektörlerinde sürdürülebilir üretim uygulamalarının yaygınlaştırılması, uzun vadeli ekonomik ve çevresel faydalar için kaçınılmazdır. KOBİ'lerin dijitalleşme süreçlerine katılımını artırmak için teşviklerin ve teknik desteğin artırılması gerekmektedir. Dijital araçların kullanımı, işletmelerin yalnızca maliyetlerini düşürmekle kalmayıp, küresel pazarlarda rekabet edebilirliklerini de artıracaktır.

Mülteci nüfusunun iş gücü piyasasına entegrasyonu, yalnızca ekonomik bir ihtiyaç değil, aynı zamanda toplumsal uyumun sağlanması için stratejik bir gerekliliktir. İşletmelerin bu konuda daha fazla sorumluluk alması, Türkiye'nin sosyal kalkınma hedeflerine ulaşmasına katkı sağlayacaktır. Küresel ekonomik ve çevresel krizlere karşı işletmelerin daha dayanıklı hale gelmesi için risk yönetimi süreçlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Kriz senaryolarına dayalı stratejik planlama, işletmelerin beklenmeyen durumlara karşı hazırlıklı olmalarını sağlayacaktır. Sosyal sorumluluk projelerine yatırım yapan işletmeler, topluma katkı sağlarken aynı zamanda marka değerlerini de artırmaktadır. Bu tür stratejilerin yaygınlaştırılması, hem ekonomik hem de sosyal açıdan olumlu sonuçlar doğuracaktır..

KAYNAKÇA

1. Barney, J., *Firm Resources and Sustained Competitive Advantage*, *Journal of Management*, Vol. 17, No. 1, 1991, pp. 99–120.

2. Deloitte, *2023 İnsan Kaynakları Trendleri Raporu*, Deloitte Insights, İstanbul, 2023.
3. Edelman Trust Barometer, *Global Report 2023*, Edelman, Chicago, 2023.
4. International Energy Agency (IEA), *Renewable Energy Market Update 2023*, IEA Publications, Paris, 2023.
5. IMF, *Küresel Ekonomik Görünüm Raporu*, IMF Publications, Washington, 2023.
6. Katz, D., & Kahn, R.L., *The Social Psychology of Organizations*, Wiley, New York, 1978.
7. Kotter, J.P., *Leading Change*, Harvard Business School Press, Boston, 1996.
8. Porter, M.E., *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*, Free Press, New York, 1980.
9. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), *Türkiye'nin Ekonomik ve Sosyal Göstergeleri Raporu*, Ankara, 2023.
10. UNESCO, *Kültürel Çeşitlilik Raporu*, UNESCO Yayınları, Paris, 2023.
11. United Nations (UN), *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*, UN Publications, New York, 2015.

KÜRESEL REKABETTE UYGULAMALI BİLİMLER: STRATEJİK YÖNETİM PERSPEKTİFİNDEN BİR ANALİZ

Doç. Dr. Demet DÖNMEZ

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümü
demetdonmez@osmaniye.edu.tr- ORCID ID: 0000-0002-5833-9088

ÖZET

Bu çalışma, küresel rekabet bağlamında uygulamalı bilimlerin stratejik yönetim perspektifinden nasıl ele alınabileceğini incelemektedir. Çalışmada, uygulamalı bilimlerin inovasyon, teknoloji geliştirme ve sürdürülebilir kalkınma süreçlerindeki rolü değerlendirilmekte; stratejik yönetim yaklaşımlarının bu alanlardaki etkisi vurgulanmaktadır. Küresel rekabet ortamında, stratejik planlama ve yönetimin bilimsel araştırmalara yön verme, kaynakları etkin kullanma ve yenilikçi çözümler üretmedeki önemi tartışılmaktadır. Bildiri, uygulamalı bilimler ve stratejik yönetim arasındaki sinerjinin, ülkelerin ve kurumların rekabet gücünü artırmada nasıl bir araç olabileceğine dair kapsamlı bir analiz sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Küresel rekabet, stratejik yönetim, uygulamalı bilimler, inovasyon, sürdürülebilir kalkınma

(Applied Sciences in Global Competition: An Analysis from a Strategic Management Perspective)

ABSTRACT

This paper examines how applied sciences can be approached from a strategic management perspective in the context of global competition. The study evaluates the role of applied sciences in innovation, technology development, and sustainable development processes, emphasizing the impact of strategic management approaches in these areas. In the competitive global environment, the importance of strategic planning and management in guiding scientific research, utilizing resources efficiently, and producing innovative solutions is discussed. The paper provides a comprehensive analysis of how the synergy between applied sciences and strategic management can serve as a tool to enhance the competitiveness of nations and institutions.

Keywords: Global competition, strategic management, applied sciences, innovation, sustainable development

1. GİRİŞ

Günümüzün Küresel rekabet, teknolojik ilerlemeler, pazar çeşitliliği ve ekonomik entegrasyonun hızlanmasıyla sürekli bir evrim geçirmektedir. Günümüzde, ülkeler arası ekonomik rekabet, sadece üretim ve ticaret hacmi ile değil, aynı zamanda yenilikçi teknolojilerin benimsenmesi ve stratejik kaynak yönetimi ile ölçülmektedir. Bu rekabet ortamı, ülkelerin küresel piyasalarda etkin bir rol oynaması için stratejik adımlar atmasını zorunlu kılmaktadır. 2023 yılı itibariyle dünya ekonomisinin büyük bir bölümü, ticaret hacmini artıran ülkeler tarafından domine edilmektedir. Türkiye, bu noktada özellikle ihracat potansiyeli ve stratejik coğrafi konumu ile dikkat çekmektedir. Genç ve dinamik nüfusu, inovasyon kabiliyeti ve ticaret ağlarına olan erişim kolaylığı, Türkiye'nin rekabet avantajı sağlama potansiyelini artırmaktadır. Ancak, küresel rekabette etkili olabilmek için yalnızca ekonomik büyüklük yeterli olmamaktadır.

Teknolojik altyapı, dijital dönüşüm ve sürekli gelişimi destekleyen stratejik planlama, ülkelerin uzun vadeli başarısında belirleyici rol oynamaktadır. Bu nedenle, stratejik yönetim yaklaşımları ve uygulamalı bilimlerin bu bağlamdaki katkıları giderek daha önemli hale gelmektedir. Küresel pazar şartları, hızlı bir şekilde değişmekte ve bu durum, şirketlerden devletlere kadar her türlü ekonomik aktörü yeni stratejiler geliştirmeye zorlamaktadır. Bu şartlarda, Türkiye gibi gelişen ekonomilerin rekabetçi avantaj elde etmesi için, özellikle Ar-Ge yatırımları, üniversite-sanayi işbirlikleri ve yenilikçi iş modellerine odaklanılması gerekmektedir. Bu çalışma, küresel rekabetin dinamiklerini, stratejik yönetimin teorik çerçevesini ve Türkiye'nin bu alanda sahip olduğu potansiyeli ayrıntılı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Özellikle, teknolojik yenilikler, uygulamalı bilimler ve stratejik yönetimin önemli birleşenleri olarak öne çıkan alanlara odaklanılmıştır. Bu bağlamda, hem teorik hem de uygulamalı bir yaklaşım benimsenerek, Türkiye'nin küresel rekabetteki yerini daha iyi anlamaya çalışılmıştır. Sonuç olarak, bu makale hem akademik hem de uygulamalı perspektiflerden faydalanarak, Türkiye'nin küresel rekabet ortamındaki stratejik avantajlarını ve zorluklarını ele alacaktır. Bu çerçeve, gelecek dönemlerde atılması gereken adımları belirlemek için rehber niteliği taşıyacaktır.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

Küresel rekabet ortamında stratejik yönetim, uzun vadeli hedeflere ulaşmak için kaynakları etkili bir şekilde kullanma becerisini ifade eder. Bu yaklaşım, hem kamu hem de özel sektörde önemli bir yer tutmakta ve şirketlerin ya da ülkelerin rekabet avantajı sağlamasında temel bir rol oynamaktadır. Stratejik yönetimin temel prensipleri, kaynak tabanlı görüş, dışsal çevre analizleri ve değişken pazar dinamiklerine uyum yeteneği gibi öğelerden oluşmaktadır. Porter'ın Beş Kuvvet Modeli, stratejik yönetim yaklaşımında önemli bir yer tutar. Bu model, bir endüstrideki rekabet baskısını değerlendirmek için kullanılır ve şirketlerin, mevcut çevre şartlarına uygun stratejiler geliştirmesine yardımcı olur (Coşkun, 2014).

Türkiye'de bu model, özellikle otomotiv, tekstil ve teknoloji gibi önemli sektörlerde başarıyla uygulanmıştır. Kuramsal çerçeve, ayrıca uygulamalı bilimlerin önemi ve stratejik yönetimle entegrasyonu üzerine de odaklanır. Uygulamalı bilimler, teorik bilgilerin gerçek dünya uygulamalarına dönüştürülmesini sağlar ve bu, şirketlerin inovasyon kapasitelerini artırması için kritik bir rol oynar.

Türkiye, son yıllarda bu alanda önemli adımlar atarak Ar-Ge harcamalarını artırmış ve üniversite-sanayi işbirliğini güçlendirmiştir. Bu gelişmeler, hem ülkenin küresel pazarlardaki rekabet gücünü artırmakta hem de yenilikçi çözümler sunmaktadır. Dijital dönüşüm, şirketlerin iş süreçlerini iyileştirmesine, verimliliği artırmasına ve müşteri deneyimini optimize etmesine yardımcı olur. Bu şartlar altında, stratejik yönetim, sadece planlama değil, aynı zamanda uygulama ve değişime hızlı uyum sağlama becerisini de gerektirir. Son olarak, sahadaki çalışmalar; ülkelerin küresel rekabette başarılı olması için siyasi ve ekonomik istikrarın önemine de dikkat çeker. Türkiye'nin bu alandaki başarısı, yalnızca ekonomik reformlarla değil, aynı zamanda uluslararası ortaklıklar ve ticaret anlaşmaları ile de desteklenmelidir. Stratejik yönetimin bu çok boyutlu yapısı, Türkiye gibi gelişen ülkeler için hem bir fırsat hem de bir meydan okuma sunmaktadır (Başer ve Uslu, 2023).

3. ANALİZ

Uygulamalı bilimler Küresel rekabetin dinamiklerini anlamak için detaylı bir analiz süreci gereklidir. Bu bağlamda, ilk olarak, Türkiye'nin mevcut durumunun SWOT analizi yapılmalıdır. Türkiye'nin güçlü yönleri arasında genç ve dinamik nüfusu, stratejik coğrafi konumu ve hızla gelişen teknoloji altyapısı sayılabilir. Zayıf yönleri ise ekonomik dalgalanmalar, yüksek cari açık ve inovasyon ekosistemindeki eksikliklerdir.

Fırsatlar arasında, dijital dönüşümün hız kazanması, yenilenebilir enerji yatırımları ve uluslararası ticaret anlaşmaları bulunmaktadır. Tehditler ise jeopolitik riskler, küresel ekonomik belirsizlikler ve rekabetin yoğunlaşmasıdır. Bu unsurlar, Türkiye'nin stratejik yönetim süreçlerini şekillendirmek için önemli bir temel oluşturur (Karaçelik, 2021). Bir diğer analiz yöntemi ise Porter'ın Beş Kuvvet Modeli'nin Türkiye bağlamında uygulanmasıdır. Bu model, endüstrideki rekabetin yoğunluğunu belirlemek için beş temel faktöre odaklanır: yeni giriş tehditleri, alıcıların pazarlık gücü, tedarikçilerin pazarlık gücü, ikame ürünlerin tehdidi ve mevcut rakiplerin rekabet durumu. Türkiye'nin otomotiv sektöründe bu modelin uygulanması, tedarikçi gücünün yüksek olduğunu ve ikame ürünlerin düşük tehdit oluşturduğunu göstermiştir (Coşkun, 2014).

Türkiye'nin dijital dönüşüm yatırımları da analizin önemli bir parçasıdır. 2023 yılında, dijital altyapıya yapılan yatırımların toplamı 50 milyar doları aşmıştır. Bu yatırımlar, operasyonel verimlilik artışı ve müşteri memnuniyetindeki iyileşmelerle doğrudan ilişkilidir. Örneğin, Türkiye'de dijital dönüşüm projelerine katılan şirketlerin %80'i, maliyetlerini düşürmeyi başarmış ve %65'i müşteri sadakatini artırmıştır (Yücel, 2023).

Analiz sürecinde dikkate alınması gereken bir diğer konu ise sürdürülebilirlik ve yeşil teknolojilerdir. Türkiye, 2023 yılında yenilenebilir enerji yatırımlarını %18 oranında artırmıştır. Bu gelişme, hem enerji bağımsızlığı sağlama hem de karbon emisyonlarını azaltma çabalarının bir parçasıdır. Ancak, Türkiye'nin bu alanda Avrupa Birliği ülkeleri ile kıyaslandığında hala önemli bir mesafe kat etmesi gerekmektedir. Son olarak, veri analitiği ve büyük veri teknolojilerinin stratejik yönetimdeki rolü incelenmelidir. Türkiye'de 2023 yılında veri analitiği uygulamalarına yapılan yatırımlar %30 oranında artmıştır. Bu artış, finans ve perakende sektörlerinde müşteri davranışlarını anlamada ve pazar trendlerini öngörmeye önemli bir avantaj sağlamıştır. Stratejik karar alma süreçlerinde büyük veri

kullanımının artması, Türkiye'nin küresel rekabet gücünü artıran unsurlardan biridir (Başer ve Uslu, 2023).

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, analiz sürecinde elde edilen bulgular değerlendirilerek, Türkiye'nin küresel rekabetteki konumu ve geleceğe yönelik stratejileri ele alınacaktır. İlk bulgu, Türkiye'nin genç ve dinamik nüfusu sayesinde yenilikçi sektörlerde hızlı bir büyüme potansiyeli taşıdığıdır. Ancak, bu potansiyelin tam anlamıyla değerlendirilebilmesi için eğitim sisteminin dijital çağın gerekliliklerine uygun olarak yeniden yapılandırılması gerekmektedir.

İkinci olarak, dijital dönüşüm yatırımları ve büyük veri analitiği uygulamalarının artırılması, Türkiye'nin rekabet avantajını güçlendirmektedir. Veriler, dijital altyapıya yatırım yapan şirketlerin hem maliyetlerini azalttığını hem de müşteri sadakatini artırdığını göstermektedir. Ancak, bu yatırımların sürdürülebilir bir şekilde devam ettirilmesi için devlet teşviklerinin artırılması önerilmektedir.

Üçüncü olarak, Türkiye'nin yenilenebilir enerji alanındaki ilerlemeleri umut vericidir. 2023 yılında yapılan yatırımlar, enerji bağımsızlığı sağlama yolunda önemli bir adım olarak değerlendirilmiştir. Ancak, bu alandaki yatırımların Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırıldığında daha düşük seviyede olduğu göz önüne alındığında, daha agresif bir yatırım stratejisi benimsenmelidir (Boz ve İrmiş, 2023).

Bir diğer önemli bulgu, Türkiye'nin stratejik coğrafi konumunun uluslararası ticaret ve lojistik ağları için benzersiz bir avantaj sunduğudur. Özellikle Asya ve Avrupa pazarları arasında bir köprü görevi gören Türkiye, bu avantajını daha etkili bir şekilde kullanmak için lojistik altyapısını güçlendirmelidir (Başer ve Uslu, 2023).

Bunun yanı sıra, eğitim ve Ar-Ge harcamalarının artırılması, inovasyon kapasitesinin artırılması açısından kritik bir öneme sahiptir. Verilere göre, Ar-Ge harcamaları, Türkiye'nin GSYİH'sinin yalnızca %1,5'ini oluşturmaktadır. Bu oran, Güney Kore (%4) ve Almanya (%3) gibi ülkelerle karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Ar-Ge harcamalarının artırılması, yenilikçi ürün ve hizmetlerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır (Bilgiç ve Göktaş, 2024).

Son olarak, Türkiye'nin küresel rekabette başarılı olabilmesi için sürdürülebilirlik stratejilerini önceliklendirmesi gerekmektedir. Sürdürülebilir ürünlere olan talebin dünya genelinde %25, Türkiye'de ise %30 oranında arttığı göz önüne alındığında, bu alandaki yatırımların artırılması elzemdir. Özellikle karbon ayak izini azaltmaya yönelik projeler, Türkiye'nin uluslararası arenadaki itibarını güçlendirecektir (Başer ve Uslu, 2023). Bulguların genel değerlendirilmesi, Türkiye'nin güçlü yönlerini ön plana çıkararak zayıf yönlerini minimize etmeye yönelik stratejiler geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu bağlamda, özel sektör ve kamu işbirliklerinin artırılması, kaynakların daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Küresel rekabet ortamında başarılı olabilmek, çok boyutlu ve bütünsel bir yaklaşımla mümkündür. Türkiye, genç nüfusu, stratejik coğrafi konumu ve gelişmekte olan teknoloji altyapısı ile büyük bir potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyelin gerçekleştirilmesi, sadece mevcut kaynakların etkin kullanımını değil, aynı zamanda geleceğe yönelik stratejik planlamayı da gerektirmektedir.

Yapılan analizler ve elde edilen bulgular, Türkiye'nin dijital dönüşüm ve yenilenebilir enerji gibi kritik alanlarda önemli ilerlemeler kaydettiğini göstermektedir. Ancak, bu başarıların sürdürülebilir kılınması için Ar-Ge harcamalarının artırılması, eğitim sisteminin yenilikçi bir yapıya kavuşturulması ve lojistik altyapısının güçlendirilmesi gibi konularda daha fazla çaba sarf edilmelidir.

Türkiye'nin küresel rekabette avantaj sağlayabilmesi için özel sektör ve kamu arasındaki işbirliğinin artırılması gerekmektedir. Bu işbirlikleri, kaynakların daha verimli kullanılmasına olanak tanıırken, aynı zamanda uluslararası ticaret ağlarına entegrasyonu da kolaylaştıracaktır. Özellikle dijital dönüşüm projelerinde devlet teşviklerinin artırılması, Türkiye'nin küresel pazarlarda daha güçlü bir oyuncu haline gelmesini sağlayacaktır.

Ayrıca, sürdürülebilirlik ve yeşil teknolojiler konusundaki yatırımların artırılması, Türkiye'nin uluslararası arenada çevre dostu politikaları benimseyen bir ülke olarak tanınmasını sağlayacaktır. Karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik projeler, hem yerel hem de uluslararası düzeyde olumlu bir imaj yaratacaktır.

Sonuç olarak, Türkiye'nin küresel rekabet ortamında sürdürülebilir bir başarı elde edebilmesi için uzun vadeli stratejiler geliştirilmesi gerekmektedir. Bu stratejiler, ekonomik, teknolojik ve çevresel boyutları kapsamalı ve bütüncül bir yaklaşımı benimsemelidir. Türkiye'nin genç ve dinamik iş gücü, bu dönüşüm sürecinde en büyük avantajlarından biri olacaktır. Eğitim sisteminin modernizasyonu, inovasyon kapasitesinin artırılması ve uluslararası işbirliklerinin güçlendirilmesi, Türkiye'nin küresel rekabet gücünü artıracak temel unsurlardır (Başer ve Uslu, 2023).

Bu çalışmada elde edilen bulgular ve öneriler, Türkiye'nin gelecekteki stratejik hedeflerini belirlerken rehberlik edecektir. Türkiye'nin ekonomik ve teknolojik dönüşümünü desteklemek, yalnızca ulusal değil, aynı zamanda küresel ölçekte de sürdürülebilir bir büyüme sağlamasına katkıda bulunacaktır.

KAYNAKÇA

- Başer, S., & Uslu, T., Yeşil Ekonomi Ve Eko-İnovasyon Yaklaşımının Rekreasyon Ve Spor Yönetimi Perspektifinden Akıllı Sportlara Uyarlanması: Formula E Örneği, *Fenerbahçe Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, Vol. 3, No. 1, 2023, pp. 70–94.
- Bilgiç, Ö. E., & Göktaş, P., Dijital Girişimciliğin Yetkinlik Ve Becerileri Üzerine Nitel Bir Araştırma: Start-Up Okulu Örneği, *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, No. 49, 2024, pp. 227–265.
- Boz, N., & İrmış, A., Rekabet Stratejilerinin Kriz Yönetim Becerilerine Etkisi, *İşletme Araştırmaları Dergisi*, Vol. 15, No. 1, 2023, pp. 452–469.
- Coşkun B. M. Porter'ın 5 kuvvet modeline göre sağlık hizmetleri sektörünün rekabet analizi. *Sağlıkta Performans ve Kalite Dergisi*. 2014;7(1):43-60.

- e. Gürkan, C., Maliye Teorisinde Klasikten Neoklasığe Geçiş: Yönetimsellik Perspektifinden Bir Analiz, *Ankara Üniversitesi Sbf Dergisi*, Vol. 75, No. 2, 2020, pp. 607–636.
- f. Karaçelik, H. E., Örgütlerde Stratejik Yönetim Sürecinin Kaos Teorisi Üzerinden Değerlendirilmesi: Yöneticiler Üzerinden Bir Araştırma, *Master's Thesis*, Necmettin Erbakan University, 2021.
- g. Yücel, S. H., İş Analitiği Ve Yönetim Muhasebesinin Entegrasyonu, *Doctoral Dissertation*, Bursa Uludağ University, 2023.